



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de agua industrial de la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A.

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero Civil

Autor:

David Andrés Quintuña Rodríguez
CI: 0105788905

Director:

Ing. Diego Benjamín Idrovo Murillo
CI: 0101500387

Cuenca, Ecuador

Octubre-2019

Resumen

El manejo empírico del sistema de tratamiento de agua requerida en el funcionamiento de la Central Termoeléctrica El Descanso deriva en la necesidad de disponer de un manual de procedimientos para garantizar que se ejecute un proceso de tratamiento eficiente. Con el fin de determinar los procedimientos adecuados, se realiza una evaluación de la PTA, así, se analiza el tratamiento definiendo los parámetros óptimos, las actividades elaboradas para el manual son las necesarias para implementarlos. La evaluación sigue criterios de CEPIS. Con la aplicación del manual de operación, mantenimiento y control de calidad elaborado, se pretende lograr la calidad de agua requerida por la CTD, garantizando su adecuado funcionamiento.

Palabras claves: Evaluación de planta de tratamiento de agua, agua industrial, central termoeléctrica, manual de operación, mantenimiento y control de calidad.

Abstract

The water treatment system of the “El Descanso” Thermal Power Plant have a empirical management, so the need of a procedural manual to be sure of have a correct treatment process. To determinate the appropriate procedures, a evaluation of the water plant is made, with which, the treatment is analyzed and optimal parameters are defined. The activities necessary to implement them are elaborated. In this work is used CEPIS evaluation criteria. With the application of this new operation, maintenance and quality control manual, the water quality must be satisfactory in accordance with the requirements of the CTD.

keyword: Evaluation of water treatment plant, thermal power plant, operation and maintenance manual.

Resumen	I
Abstract	III
Índice de figuras	XIII
Índice de tablas	XV
Acronimos	XVIII
Introducción	1
1. Marco Teórico	3
1.1. El agua	3
1.1.1. Naturaleza del agua	3
1.1.2. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua	3
1.1.2.1. Características físicas	3
1.1.2.2. Características químicas	5
1.1.3. Aspectos biológicos del agua	6
1.1.4. Fuentes de agua	6
1.1.5. Usos de agua	7
1.1.5.1. Uso industrial	8
1.1.5.1.1. Agua de calderas	8
1.1.5.1.2. Agua de enfriamiento	8
1.1.6. Tratamiento según impurezas y usos del agua	8
1.2. Tratamiento de agua	9
1.2.1. Métodos de purificación	10
1.2.1.1. Coagulación	10
1.2.1.1.1. Conceptos preliminares	10
1.2.1.1.2. Definición	10
1.2.1.1.3. Proceso de coagulación	10
1.2.1.1.4. Fases de la coagulación	11
1.2.1.1.5. Sustancias químicas para la coagulación	11
1.2.1.1.6. Factores que influyen en la coagulación	12
1.2.1.1.7. Coagulante: Sulfato de Aluminio	12
1.2.1.1.8. Equipos	13
1.2.1.2. Floculación	14
1.2.1.2.1. Concepto	14

1.2.1.2.2.	Factores que influyen en la floculación	14
1.2.1.2.3.	Equipos	15
1.2.1.3.	Sedimentación	16
1.2.1.3.1.	Concepto	16
1.2.1.3.2.	Procedimiento	16
1.2.1.3.3.	Factores que influyen en la sedimentación	16
1.2.1.3.4.	Equipos	16
1.2.1.4.	Filtración	17
1.2.1.4.1.	Concepto	17
1.2.1.4.2.	Procedimiento	17
1.2.1.4.3.	Factores que influyen en la filtración	18
1.2.1.4.4.	Equipos	18
1.2.1.5.	Desinfección	19
1.2.1.5.1.	Concepto	19
1.2.1.5.2.	Procedimiento	19
1.2.1.5.3.	Factores que influyen en la desinfección	20
1.2.1.5.4.	Cloración	20
1.2.1.5.5.	Equipos	20
1.2.2.	Equipos de conducción	21
1.2.2.1.	Rejilla	21
1.2.2.2.	Válvula	21
1.2.2.3.	Bomba	23
1.2.3.	Tratamiento del agua para enfriamiento	24
1.2.3.1.	Especificaciones del agua de enfriamiento	25
1.2.3.2.	Tratamiento	25
1.2.4.	Tratamiento del agua para calderas	25
1.2.4.1.	Especificaciones del agua de calderas	25
1.2.4.2.	Tratamiento	25
1.2.4.2.1.	Tratamiento externo del agua de calderas	25
1.3.	Evaluación de sistema de tratamiento de agua	26
1.3.1.	Evaluación técnica	26
1.3.2.	Evaluación operativa	26
1.4.	Operación, mantenimiento y control en procesos de tratamiento de agua	26
1.4.1.	Operación	27
1.4.2.	Mantenimiento	27
1.4.2.1.	Mantenimiento preventivo	27
1.4.2.2.	Mantenimiento correctivo	27
1.4.3.	Actividades de operación	27
1.4.3.1.	Operación de puesta en marcha	27
1.4.3.2.	Operación normal	27
1.4.3.3.	Operación eventual	27
1.4.3.4.	Operación de emergencia	27
1.4.4.	Manual de operación, mantenimiento y control de calidad	28
1.4.4.1.	Generalidades	28
1.4.4.2.	Redacción del manual	28
1.4.4.3.	Contenido	28
2.	Descripción sistema de tratamiento de agua para la CTD	29
2.1.	Marco Institucional	29
2.1.1.	Empresa electro generadora del Austro	29
2.1.2.	Central termoeléctrica El Descanso	29
2.1.2.1.	Descripción general	29
2.1.2.2.	Proceso de generación de energía	30
2.1.2.3.	Localización Geográfica	30
2.1.2.4.	Instalaciones de la Central Termoeléctrica El Descanso.	30

2.2.	Tratamiento de agua para la Central Termoeléctrica El Descanso (C.T.D.) . . .	31
2.2.1.	Captación	31
2.2.2.	Conducción	32
2.2.2.1.	Conducción por Gravedad	32
2.2.2.2.	Estación de bombeo	32
2.2.2.3.	Conducción por Bombeo	32
2.2.3.	Tanque de recepción de agua cruda	32
2.2.4.	Tratamiento de agua	32
2.2.4.1.	Coagulación y Floculación	33
2.2.4.2.	Sedimentación	33
2.2.4.3.	Filtración	34
2.2.4.4.	Desinfección	34
2.2.5.	Almacenamiento de agua tratada	34
2.3.	Demanda de caudal de la CTD	34
2.3.1.	Proceso de determinación de la demanda de agua de la CTD	35
2.4.	Caudal de diseño de la PTA	36
2.5.	Situación demanda de la CTD frente a producción de la PTA (Caudal)	36
3.	Requerimientos de calidad de agua necesaria en la Central Termoeléctrica El Descanso	39
3.1.	Usos del agua en la CTD	39
3.2.	Calidad requerida sistema de enfriamiento primario	41
3.2.1.	Problemas a causa de la calidad de agua	41
3.2.1.1.	Incrustaciones	42
3.2.1.2.	Corrosión	42
3.2.1.3.	Sedimentación	42
3.2.1.4.	Crecimiento biológico	42
3.2.2.	Características del agua	43
3.3.	Calidad requerida sistema de enfriamiento secundario	43
3.3.1.	Problemas a causa de la calidad de agua	43
3.3.2.	Características del agua	44
3.4.	Calidad requerida en el sistema de agua blanda	44
3.4.1.	Problemas a causa de la calidad de agua	45
3.4.1.1.	Incrustaciones	45
3.4.1.2.	Corrosión	46
3.4.1.3.	Natas y espumas	46
3.4.1.4.	Arrastres	46
3.4.1.5.	Fragilidad	46
3.4.2.	Características del agua	47
4.	Evaluación de la PTA de la CTD: Inspección general	49
4.1.	Inspección general, CEPIS	49
4.1.1.	Paso 1. Recopilación de información en el sitio	49
4.1.2.	Paso 2. Recorrido por la planta	50
4.1.3.	Paso 3. Recopilación de datos de control de la operación	50
4.1.4.	Paso 4. Desarrollo del gráfico de potencial de producción	50
4.1.4.1.	Floculación	50
4.1.4.2.	Sedimentación	51
4.1.4.3.	Filtración	52
4.1.4.4.	Desinfección	53
4.1.5.	Paso 5. Elaboración de un diagnóstico previo	55
4.2.	Identificación de los factores que afectan la producción y asignación de prioridad entre ellos	55
4.2.1.	Identificación de los factores que afectan la producción	55
4.2.2.	Asignación de prioridades ente los factores que limitan la producción . .	55

4.3.	Resultados	56
4.3.1.	Inspección general, CEPIS	56
4.3.1.1.	Paso 1. Recopilación de información en el sitio	56
4.3.1.2.	Paso 2. Recorrido por la planta	57
4.3.1.3.	Paso 3. Recopilación de datos de control de la operación.	57
4.3.1.4.	Paso 4. Desarrollo del gráfico de potencial de producción.	57
4.3.1.5.	Paso 5. Elaboración de un diagnóstico previo	59
4.3.2.	Resultados de la Identificación de los factores que afectan la producción y asignación de prioridad entre ellos	59
5.	Evaluación de la PTA de la CTD: Análisis de flujo y factores que determinan los periodos de retención	67
5.1.	Modelos de flujo	67
5.2.	Influencia del tiempo de retención	68
5.3.	Uso de trazadores para determinar el tiempo de retención y características hidráulicas de un reactor	69
5.4.	Análisis de las características de un reactor	69
5.4.1.	Modelo matemático	69
5.4.1.1.	Modelo simplificado de la teoría de Wolf y Resnick	70
5.4.1.2.	Análisis de la curva de tendencia de concentración del trazador	71
5.4.2.	Tipos de flujo en el periodo que el trazador pasa por el reactor	73
5.5.	Ensayo con trazadores	73
5.5.0.1.	Procedimiento	73
5.6.	Resultados	74
5.6.1.	Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central Termoeléctrica El Descanso	74
5.6.1.1.	Tiempo de retención teórico	74
5.6.2.	Ensayo con trazadores	75
5.6.2.1.	Análisis por el método de Wolf y Resnick	75
5.6.3.	Análisis por el método de la curva de tendencia	85
5.6.3.1.	Análisis de resultados	90
5.6.3.2.	Análisis de resultados	93
5.6.3.3.	Análisis de resultados	94
6.	Evaluación de la PTA de la CTD: Evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada	95
6.1.	Evaluación del proceso de coagulación	95
6.1.1.	Selección de los parámetros óptimos del proceso de coagulación	97
6.1.1.1.	Parámetros de dosificación	97
6.1.1.1.1.	Determinación de la dosis óptima de coagulante	97
6.1.1.1.2.	Selección del coagulante apropiado	98
6.1.1.1.3.	Concentración óptima de coagulante	99
6.1.1.1.4.	pH óptimo de coagulación y dosis de modificador de pH	99
6.1.1.1.5.	Selección de ayudante de coagulación y dosis óptima	99
6.1.1.2.	Resultados	99
6.1.1.2.1.	Parámetros de dosificación	99
6.1.2.	Recepción, manejo y almacenamiento de sustancias químicas	100
6.1.2.1.	Resultados	101
6.1.2.1.1.	Parámetros operacionales de almacenamiento	104
6.1.3.	Dosificación de sustancias químicas	104
6.1.3.1.	Composición sistema de dosificación	104
6.1.3.2.	Capacidad de los sistemas	105
6.1.3.3.	Resultados	106
6.1.3.3.1.	Composición sistema de dosificación	106

6.1.3.3.2.	Capacidad del sistema	106
6.2.	Evaluación de mezclador	108
6.2.1.	Geometría de la unidad y punto de aplicación de las sustancias químicas	108
6.2.2.	Determinación del tiempo de mezcla	109
6.2.3.	Determinación de la intensidad de la mezcla	110
6.2.4.	Condiciones hidráulicas en las interconexiones	112
6.2.5.	Resultados	112
6.2.5.1.	Geometría de la unidad	112
6.2.5.2.	Punto de aplicación de sustancias químicas	112
6.2.5.3.	Determinación del tiempo de mezcla	113
6.2.5.4.	Determinación de la intensidad de mezcla	113
6.2.5.5.	Condiciones hidráulicas en las interconexiones	114
6.2.5.6.	Interpretación de resultados	114
6.3.	Evaluación del floculador	115
6.3.1.	Geometría de la unidad	115
6.3.2.	Caudal de operación	115
6.3.3.	Parámetros óptimos del proceso	115
6.3.4.	Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad	116
6.3.5.	Intensidad de floculación	116
6.3.6.	Tiempo de formación inicial del flóculo	116
6.3.7.	Tamaño del flóculo producido	116
6.3.8.	Resultados	117
6.3.8.1.	Geometría de la unidad	117
6.3.8.2.	Caudal de operación	118
6.3.8.3.	Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad	118
6.3.8.4.	Intensidad de floculación	119
6.3.8.5.	Tiempo de formación inicial del flóculo	119
6.3.8.6.	Tamaño del flóculo producido	120
6.3.8.7.	Interpretación de resultados	120
6.4.	Evaluación del sedimentador	120
6.4.1.	Eficiencia	121
6.4.1.1.	Eficiencia en función del agua sedimentada	121
6.4.1.2.	Eficiencia en función del agua cruda	122
6.4.2.	Geometría de la unidad, comportamiento del canal de distribución, velocidad óptima de sedimentación, carga superficial real, características de las zonas de entrada y salida	122
6.4.2.1.	Zona de entrada	122
6.4.2.2.	Zona de sedimentación	123
6.4.2.3.	Zona de salida	125
6.4.3.	Resultados	125
6.4.3.1.	Eficiencia	125
6.4.3.1.1.	Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada	125
6.4.3.1.2.	Eficiencia en función de la calidad del agua cruda	126
6.4.3.2.	Geometría de la unidad, comportamiento del canal de distribución, carga superficial real, características de las zonas de entrada y salida	127
6.4.3.2.1.	Zona de entrada	127
6.4.3.2.2.	Zona de sedimentación	129
6.4.3.2.3.	Zona de salida	129
6.4.3.3.	Interpretación de resultados	130
6.5.	Evaluación de los filtros	131
6.5.1.	Características de la unidad	131
6.5.2.	Eficiencia del proceso	132
6.5.3.	Características del proceso de filtración	132
6.5.3.1.	Determinación de la velocidad y caudal de filtración	133

6.5.3.2.	Determinación de la calidad del filtrado inicial	134
6.5.3.3.	Duración de las carreras de filtración	134
6.5.4.	Características del sistema de lavado	134
6.5.4.1.	Duración del proceso de lavado	134
6.5.5.	Características del medio filtrante	135
6.5.5.1.	Composición del lecho filtrante. Granulometría del lecho filtrante	135
6.5.6.	Resultados	135
6.5.6.1.	Características de la unidad	135
6.5.6.2.	Eficiencia del proceso	135
6.5.6.3.	Características del proceso de filtración	136
6.5.6.3.1.	Determinación de la calidad del filtrado inicial	137
6.5.6.3.2.	Duración de las carreras de filtración	138
6.5.6.4.	Características del sistema de lavado	139
6.5.6.4.1.	Duración del proceso de lavado	139
6.5.6.5.	Características del medio filtrante	140
6.5.6.5.1.	Composición del lecho filtrante. Granulometría del lecho filtrante	140
6.5.6.6.	Interpretación de resultados	140
6.6.	Evaluación de las instalaciones para desinfección	141
6.6.1.	Tiempo real de contacto	141
6.6.2.	Dosis óptima de cloro	142
6.6.2.1.	Determinación de la dosis óptima	142
6.6.2.2.	Determinación de la dosificación	143
6.6.3.	Características del sistema de aplicación	143
6.6.4.	Características de las instalaciones de cloración	144
6.6.4.1.	Criterios para evaluar la sala de cloración y el almacén de cilindros de cloro	144
6.6.5.	Grado de contaminación ocasionada por el proceso	144
6.6.6.	Resultados	144
6.6.6.1.	Tiempo real de contacto	145
6.6.6.2.	Dosis óptima de cloro	146
6.6.6.2.1.	Determinación de la dosis óptima	146
6.6.6.2.2.	Determinación de la dosificación	146
6.6.6.2.3.	Parámetros operacionales de almacenamiento	146
6.6.6.3.	Características del sistema de aplicación	147
6.6.6.4.	Características de las instalaciones de cloración	148
6.6.6.5.	Grado de contaminación ocasionada por el proceso	149
6.6.6.6.	Interpretación de resultados	149
6.7.	Medición de caudal	150
6.7.1.	Resultados	151
6.8.	Calidad de agua tratada esperada	153
6.8.1.	Características físicas	153
6.8.1.1.	Temperatura	153
6.8.1.2.	Turbiedad	154
6.8.2.	Características químicas	154
6.8.2.1.	pH	154
6.8.3.	Determinaciones adicionales	155
7.	Manual de operación, mantenimiento y control de calidad	157
7.1.	Introducción	157
7.2.	Metodología de elaboración del manual de operación, mantenimiento y control de calidad de la PTA de la CTD	157
7.3.	Formato del manual	158
7.4.	Resultado	159

8. Conclusiones	161
A. Planos de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A.	163
B. Informe de resultados. Laboratorio de Ingeniería Sanitaria. Facultad de In- geniería. Universidad de Cuenca	165
 Bibliografía	 167

Índice de figuras

1.1. Fuentes de agua [1].	7
1.2. Clasificación de los procesos de tratamiento de agua [2].	10
1.3. Mezclador hidráulico de resalto hidráulico [3].	13
1.4. Dosificador en solución de orificio de carga constante [4].	14
1.5. Floculador de flujo horizontal [5].	15
1.6. Sedimentador laminar de placas de flujo inclinado [5].	17
1.7. Filtro de flujo ascendente [3].	18
1.8. Superfiltro vertical a presión [3].	19
1.9. Clorador de solución al vacío [6].	21
1.10. Rejilla de barras.	21
1.11. Partes generales de una válvula [7].	22
1.12. Válvula de retención de bisagra.	22
1.13. Válvula de compuerta.	23
1.14. Válvula de globo.	23
1.15. Partes generales de un sistema de bombeo.	24
1.16. Bomba centrífuga.	24
2.1. Ubicación de la central en la región	30
3.1. Mapa conceptual de los usos del agua en Central Termoeléctrica El Descanso (CTD).	40
3.2. Flujograma de sistemas de CTD que requieren agua en la maquinaria.	41
4.1. Esquema de flujo del sistema de abastecimiento de la CTD desde la captación hasta la distribución.	57
4.2. Gráfico de capacidad potencial de producción.	59
4.3. Variaciones de SST en la fuente de abastecimiento.	62
4.4. Variaciones de temperatura en la fuente de abastecimiento.	62
4.5. Variaciones de PH en la fuente de abastecimiento.	63
4.6. Eficiencia del sistema de tratamiento.	64
5.1. Tipos de flujos ideales de una unidad de tratamiento de agua. [4].	67
5.2. Influencia del periodo de retención en la eficiencia teórica (prueba de jarras) y la “real” (floculador de la planta). Planta La Atarjea Lima, Perú [4].	69
5.3. Curvas de cantidad de trazador que permanece en el reactor $1 - f(t)$ en función de t/t_o	71
5.4. Concentración de trazador en el efluente de un reactor.	71
5.5. Curva para el Índice de Morrill.	73

5.6. Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Cámara 1 del floculador.	80
5.7. Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Cámara 2 del floculador.	80
5.8. Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Cámara 3 del floculador.	82
5.9. Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Floculador.	83
5.10. Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Sedimentador.	83
5.11. Curva de tendencia de la concentración del trazador en la cámara 1 del floculador.	86
5.12. Curva de tendencia de la concentración del trazador en la cámara 2 del floculador.	86
5.13. Curva de tendencia de la concentración del trazador en la cámara 3 del floculador.	87
5.14. Curva de tendencia de la concentración del trazador en el floculador.	87
5.15. Curva de tendencia de la concentración del trazador en el sedimentador.	88
5.16. Curva para el índice de Morrill: Cámara 1 del floculador.	91
5.17. Curva para el índice de Morrill: Cámara 2 del floculador.	92
5.18. Curva para el índice de Morrill: Cámara 3 del floculador.	92
5.19. Curva para el índice de Morrill: Floculador.	92
5.20. Curva para el índice de Morrill: Sedimentador.	93
6.1. Curva de relación entre la turbiedad del agua cruda y la dosis de coagulante a aplicar en el proceso de coagulación, PTA de la CTD [8].	96
6.2. Esquema de un sistema de dosificación por solución de gravedad [5].	104
6.3. Curva de calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante, PTA de la CTD.	107
6.4. Funcionamiento de vertedero como mezclador [9].	109
6.5. Comparador para estimar el tamaño del flóculo producido según la Water Re- search Association [4].	117
6.6. Muestra del inicio de formación de flóculos en la PTA de la CTD.	119
6.7. Fotografías de muestras de agua al final del proceso de floculación en la PTA de la CTD.	120
6.8. Eficiencia sedimentador en función del agua cruda, PTA de la CTD.	127
6.9. Filtro Ascendente Descendente bajo presión vertical.	132
6.10. Turbiedad de filtrado inicial. PTA de la CTD	138
6.11. Turbiedad del agua de retrolavado.	139
6.12. Esquema de mecanismo para redirigir el caudal para aforar. PTA de la CTD. .	151
6.13. Relación caudal que entra a la PTA con nivel que marca regleta antes del ver- tedero, PTA de la CTD.	153
6.14. Turbiedad de agua sedimentada en relación al agua cruda. Simulación de labo- ratorio [8].	154
6.15. pH de agua sedimentada en relación al agua cruda. Simulación de laboratorio [8].	155

Índice de tablas

1.1. Cationes y Aniones causantes de dureza en el agua [1]	6
2.1. Consumo de la CTD con 4 motogeneradores.	35
2.2. Cantidad de agua requerida en almacenamiento para sistema contra incendios de la CTD.	35
2.3. Demanda de la CTD frente a producción de la PTA (Caudal)	36
2.4. situación de la demanda de la CTD y la producción de la PTA en condiciones normales	36
2.5. Cantidad mínima que debe existir en el almacenamiento. PTA de la CTD . . .	37
2.6. Niveles y cantidades máximas y mínimas que se deben tener en el tanque de almacenamiento N1. PTA de la CTD	37
3.1. Características del agua para sistema de enfriamiento primario de la C.T.D. . .	43
3.2. Características del agua y problemas relacionados en el sistema de enfriamiento secundario.	44
3.3. Parametros del agua y problemas relacionados en el sistema de agua blanda. .	47
3.4. Características del agua y problemas relacionados en las calderas.	48
4.1. Criterios para evaluar el floculador [4].	51
4.2. Criterio de evaluación para los sedimentadores [4].	52
4.3. Criterio de evaluación para los filtros [4].	53
4.4. Factores que determinan el tiempo de contacto efectivo [4].	54
4.5. Sistema de clasificación para asignar prioridades a los factores que limitan la producción [10].	56
4.6. Eficiencia del sistema de tratamiento.	56
5.1. Tiempos teóricos de retención de unidades de tratamiento.	74
5.2. Cantidad de sal para ensayos de trazadores en las unidades.	75
5.3. Cálculos para elaboración de la gráfica $1 - F(t)$ en función de t/t_o del método de Wolf y Resnick.	75
5.4. Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Cámara 1 del floculador.	76
5.5. Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Cámara 2 del floculador.	77
5.6. Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Cámara 3 del floculador.	78
5.7. Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Floculador.	79
5.8. Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Sedimentador.	81
5.9. Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Sedimentador (continuacion). .	82
5.10. Parámetros de la gráfica $1 - F(t)$ en función de t/t_o . Método de Wolf y Resnick.	84
5.11. Características de flujo de la cámara 1 del floculador.	84

5.12. Características de flujo de la cámara 2 del floculador.	84
5.13. Características de flujo de la cámara 3 del floculador.	84
5.14. Características de flujo del floculador.	84
5.15. Características de flujo del sedimentador.	85
5.16. Parámetros relacionados a la curva de tendencia de trazador en las unidades de la PTA de la CTD.	88
5.17. Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Cámara 1 del floculador.	89
5.18. Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Cámara 2 del floculador.	89
5.19. Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Cámara 3 del floculador.	89
5.20. Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Floculador. . . .	90
5.21. Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Sedimentador. . .	90
5.22. Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Sedimentador. . .	93
5.23. Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Sedimentador. . .	94
6.1. Relación entre la turbiedad del agua cruda y la dosis de coagulante a aplicar en el proceso de coagulación. PTA de la CTD [8].	98
6.2. Especificaciones técnicas del sulfato de aluminio para la PTA de la CTD [4]. . .	98
6.3. Parámetros óptimos de dosificación. PTA de la CTD.	99
6.4. Especificaciones técnicas de Sulfato de Aluminio Pantera producido por Iris Industrial S.A. Actual coagulante utilizado en la PTA de la CTD.	102
6.5. Cantidad de sulfato de aluminio requerido en la PTA de la CTD.	103
6.6. Cantidad de bolsas de sulfato de aluminio requerido en la PTA de la CTD. . .	103
6.7. Volumen y área requeridos de sulfato de aluminio por mes en la PTA de la CTD.	103
6.8. Coagulante requerido en la PTA de la CTD.	104
6.9. Relación de la posición de la manija de la válvula dosificadora de coagulante y el caudal dosificado. PTA de la CTD.	107
6.10. Parámetros de dosificación para turbiedad máxima y mínima. PTA de la CTD.	107
6.11. Gradientes óptimos de mezcla [4].	111
6.12. Relación de temperatura con factores de gradiente hidráulico [4].	111
6.13. Evaluación de geometría de la unidad de mezclador. PTA de la CTD.	112
6.14. Evaluación de punto de aplicación de sustancias químicas en el mezclador. PTA de la CTD.	112
6.15. Evaluación de tiempo de mezcla del mezclador. PTA de la CTD.	113
6.16. Evaluación de intensidad de mezcla de mezclador, PTA de la CTD.	113
6.17. Evaluación de Condiciones hidráulicas en las interconexiones. PTA de la CTD.	114
6.18. Índice de floculación de Willcomb [4].	117
6.19. Gradientes de velocidad en las cámaras del floculador de la PTA de la CTD [8].	119
6.20. Tiempo de formación inicial del flóculo, PTA de la CTD.	119
6.21. Clasificación de la eficiencia de un sedimentador en función de la calidad del agua producida [4].	122
6.22. Eficiencia del sedimentador según calidad de agua sedimentada de la PTA de la CTD.	126
6.23. Turbiedad de agua cruda y sedimentada de la PTA de la CTD.	126
6.24. Aceptabilidad de condiciones en la zona de entrada.	127
6.25. Gradiente. Zona de sedimentación.	128
6.26. Aceptabilidad de condiciones en la zona de sedimentación.	128
6.27. Aceptabilidad de condiciones en la zona de sedimentación.	129
6.28. Tasa de sedimentación.	129
6.29. Aceptabilidad de condiciones en la zona de sedimentación.	130
6.30. Tasa de recolección. Salida del sedimentador.	130
6.31. Características recomendadas del medio filtrante [11].	135
6.32. Turbiedad de agua cruda y sedimentada de la PTA de la CTD.	136

6.33. Valores de tiempo y nivel de ciclos de bombeo, PTA de la CTD.	136
6.34. Valores de duración y nivel en el tanque de agua sedimentada un ciclo de bombeo, PTA de la CTD.	137
6.35. Caudal de filtración de la PTA de la CTD.	137
6.36. velocidad de filtración de la PTA de la CTD.	137
6.37. Aceptabilidad de las condiciones de los filtros de la PTA de la CTD [11].	140
6.38. Cloro gas requerido en la PTA de la CTD.	147
6.39. Datos registrados y los cálculos para determinar el factor m de la ecuación de relación caudal.	151
6.40. Relación caudal que entra a la PTA con nivel que marca regleta antes del ver- tedero, PTA de la CTD.	152
6.41. Temperatura esperada del agua tratada por la PTA de la CTD.	154

Siglas

CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
CTD	Central Termoeléctrica El Descanso.
EPTA	Evaluación de plantas de tecnología apropiada.
PTA	Planta de Tratamiento de Agua.

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

David Andrés Quintuña Rodríguez en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de agua industrial de la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A.", de conformidad con el Art. 114 del *CODIGO ORGANICO DE LA ECONOMIA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACION* reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 114 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 octubre de 2019.



David Andrés Quintuña Rodríguez
C.I.: 0105788905

Cláusula de Propiedad Intelectual

David Andrés Quintuña Rodríguez, autor del trabajo de titulación "Elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de agua industrial de la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 25 octubre de 2019.



David Andrés Quintuña Rodríguez
C.I: 0105788905

Dedico este trabajo a mi familia, porque a ellos les debo lo que soy.

Agradezco a todos los que colaboraron con la elaboración de este trabajo con su buena voluntad, mi familia, docentes y compañeros de la Universidad de Cuenca, personal de ELECAUSTRO S.A..

Antecedentes

Las centrales termoeléctricas son después de las hidroeléctricas las más utilizadas para la generación de energía en nuestro país, estas utilizan la energía liberada por la quema de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, constan de sistemas que requieren para su funcionamiento agua con características específicas, por lo que, el agua captada desde una fuente natural no siempre presenta las condiciones para ser utilizada directamente debiendo someterse a procesos de acondicionamiento. Dos de los sistemas que requieren agua son el de enfriamiento de maquinaria y calderas. El proceso de tratamiento de agua requiere de un manejo óptimo, pues, en función de las condiciones que se presenten, se debe tomar las acciones para un funcionamiento correcto.

Estado del Problema

La Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A. cuenta, entre otras centrales, con la termoeléctrica de El Descanso, para obtener el agua requerida por esta central, dispone de un sistema de abastecimiento propio que capta el agua del río Cuenca y la trata en una Planta de Tratamiento de Agua (PTA) de tipo convencional, los principales procesos son: coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección. La operación de la planta de tratamiento de El Descanso se la realiza empíricamente, se sigue recomendaciones a partir de la calidad del agua tratada. Por lo cual, es necesario contar con un manual de operación y mantenimiento técnico, donde dependiendo de las características del agua cruda se realicen las acciones adecuadas para el tratamiento. Se elabora un manual definiendo los procedimientos para un funcionamiento óptimo del sistema de tratamiento para obtener el agua con las características requeridas. Para definir los parámetros que permiten la mayor eficiencia de las unidades se realiza una evaluación de la PTA. Una operación y mantenimiento de forma organizada, sistemática y técnica, permitirá garantizar el funcionamiento adecuado de la central termoeléctrica, su estado. Siendo la operación de esta central especialmente para ocasiones de escases energética debido a las complicaciones que se dan por sequía en las hidroeléctricas, es trascendental su buen estado.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de agua industrial de la central termoeléctrica El Descanso.

Objetivos específicos

1. Definir en base a los requerimientos en la central, las características que debe tener el agua a ser empleada.
2. Evaluar los procesos de tratamiento de la planta.
3. Evaluar la aplicabilidad de los resultados obtenidos en el trabajo de titulación “Determinación de la dosis optima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de la central termoeléctrica El Descanso” realizado por Izquierdo [8].
4. Determinar procedimientos, de acuerdo con características del agua captada.

Organización del trabajo

La PTA de la CTD debe operar con parámetros óptimos para lograr su máxima eficiencia, para determinarlos se obtiene información del proceso de tratamiento y se analiza el funcionamiento de la planta con una evaluación. Los procedimientos del manual son elaborados para que se apliquen estos parámetros. La evaluación comprende el tratamiento para la clarificación y desinfección del agua, se lleva a cabo con los criterios dados por el manual para Evaluación de plantas de tecnología apropiada (EPTA) destinadas a tratamiento de agua para consumo humano elaborado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) publicado en el año 2006. Se utiliza estos criterios puesto que la planta posee todas las unidades de tratamiento de una planta convencional. La calidad del agua se evalúa con los lineamientos específicos que debe cumplir para el uso en la CTD. Se presentan los resultados de la evaluación con las recomendaciones para optimizar el tratamiento. La evaluación a través de este manual de CEPIS permite un análisis de las unidades físicas de la planta, de la forma en que está siendo operada, controlada, mantenida y administrada, siendo el resultado de la evaluación la obtención de información que permita mejorar la eficiencia del sistema del tratamiento [4]. El manual está dividido en cuatro capítulos:

- Inspección general
- Análisis de flujo y factores que determinan los periodos de retención
- Evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada
- Evaluación de plantas de tecnología importada

Se sigue los criterios de los tres primeros capítulos referentes a la evaluación integral para plantas convencionales clásicas y de tecnología apropiada. Se utiliza otras fuentes para ampliar conceptos y realizar evaluaciones adicionales a fin de cumplir objetivos del manual de CEPIS, cuyos procedimientos no se encuentran desarrollados en este. Una vez determinados los parámetros óptimos de los procesos de tratamiento e identificado defectos en la PTA se definen las actividades correspondientes para el manejo. Al principio del trabajo se sintetizan conceptos teóricos que intervienen. Antes de iniciar la evaluación, se define la calidad del agua requerida en los sistemas de la CTD, con el fin de direccionar el tratamiento, se realiza una descripción completa del sistema con el que se dispone.

CAPÍTULO 1

Marco Teórico

Se sintetizan conceptos teóricos que intervienen en el proceso de elaboración de este trabajo: “Elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de agua industrial de la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A”.

Se definen conceptos sobre el manual de operación, mantenimiento y control de calidad del proceso de tratamiento de agua; sobre la evaluación que se realiza para definir acciones en función del funcionamiento óptimo del sistema, tratamiento de agua necesario para obtener la calidad requerida en los usos en la CTD, métodos de purificación y características del agua.

1.1. El agua

1.1.1. Naturaleza del agua

El agua como compuesto químico puro es una combinación de dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno [12], en la naturaleza contiene diversidad de sustancias por su condición de solvente. Es así como el agua natural es una solución compleja con sustancias orgánicas e inorgánicas que reflejan las características de la fuente. Además de los constituyentes que se disuelven en el agua, las corrientes superficiales contienen materia en suspensión que resulta de la erosión [12].

1.1.2. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua

1.1.2.1. Características físicas

Algunas características físicas del agua son:

- **Turbiedad**

Es una propiedad óptica del agua, las partículas en suspensión reflejan la luz. La turbiedad es una expresión causada por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua [1]. Cuanto mayor sea la intensidad de luz disipada en una muestra, mayor será la turbiedad.

■ Color

Es originado por la disolución de materia mineral o vegetal, los elementos más comunes que generan color son el hierro y el manganeso en estado coloidal o en solución. Dos tipos de color se reconocen:

- **Color verdadero:** Color del agua a la cual se le ha removido la turbiedad, es decir debido solo a sustancias en solución.
- **Color aparente:** Debido a las sustancias en solución y materia en suspensión.

■ Cantidad de sólidos en el agua

Se considera como sólidos totales (ST) a la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103°C . El valor de ST incluye material sólido disuelto (SD) y no disuelto o suspendido (SS).

Entonces:

$$ST = SD + SS$$

- **Sólidos disueltos:** Son la mezcla de un sólido en un líquido en forma homogénea, esta combinación se conoce como solución, no tiene lugar ninguna reacción química entre la sustancia disuelta, llamada soluto y el líquido en que se disuelve, llamado solvente [1]. Son conocidos como residuos filtrables.
- **Sólidos suspendidos:** Están constituidos por pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua que impiden el paso de la luz. La mezcla de sólidos suspendidos con el agua se considera como suspensión, cuya permanencia dependerá del tamaño y sedimentación de las partículas. Son conocidos como residuos no filtrables.
- **Coloides:** Son partículas que permanecen uniformes dispersas por toda el agua pero difunden luz. Se trata de una suspensión coloidal.

■ Olor y sabor

Las causas del olor y sabor en el agua pueden ser: naturales y antrópicas. Dentro de las naturales se entran con mayor frecuencia las algas. El origen del olor se debe a la presencia de:

- compuestos orgánicos en solución
- actividad de microorganismos
- algas
- desechos de descargas industriales
- compuestos fenólicos
- sulfuro de hidrógeno
- cloro, cloruro de sodio, sulfato de sodio, magnesio, hierro, manganeso, aceites, ácido sulfhídrico [1]

■ Temperatura

Varía por factores potencialmente ambientales, retarda o acelera la actividad biológica, la disolución de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, desinfección mediante cloro y también indirectamente influye en coagulación, floculación sedimentación y filtración.

1.1.2.2. Características químicas

■ Composición química del agua

El agua está compuesta por hidrógeno (H) y oxígeno (O), el compuesto químico puro está representado por la fórmula: H_2O . El agua se considera un solvente universal, debido a que es capaz de disolver la mayoría de sustancias con las que tiene contacto.

■ Ionización

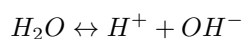
El agua tiene un carácter bipolar impidiendo que las sustancias que se disuelven en ella conserven sus moléculas intactas, por lo que, la disolución implica la ionización o fraccionamiento de las moléculas en átomos o grupos de átomos (radicales o iones) con una carga positiva (cationes) o negativa (aniones).

■ Solvatación

Cada ion produce una atracción electrostática entre él y los dipolos, los cuales quedan formando una envoltura a su alrededor. La solvatación en el caso particular del agua se llama hidratación.

■ Disociación del agua

Una fracción de las moléculas del agua se disocia:



Al introducir un ácido en el agua, la concentración de H^+ aumenta y la de OH^- disminuye, cuando se introduce una sustancia básica sucede lo contrario. Cuando existen iguales concentraciones el agua es neutra.

Se definen a continuación algunas características químicas del agua:

■ pH

El pH indica la cantidad de iones libres de H^+ , es decir es el grado de acidez o basicidad del agua, el valor de pH para un agua neutra es 7.

■ Acidez

Es una medida para determinar la cantidad total de sustancias ácidas presentes en el agua, es decir, se identifica la cantidad de H^+ , expresadas generalmente como partes por millón de carbonato de calcio equivalente. Se debe a la presencia de ácidos minerales, a la hidrólisis de ácido fuerte, base débil y la presencia de CO_2 . Las aguas ácidas tienen características corrosivas.

■ Alcalinidad

Es una medida para determinar la cantidad de sustancias alcalinas presentes en el agua, es decir la cantidad de OH^- , expresadas generalmente como partes por millón de carbonato de calcio equivalente. En aguas naturales se debe a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

■ Dureza

La dureza es un término que se origina en el uso casero del agua para lavado, se requiere más jabón para generar espuma en aguas duras, a diferencia de aguas recogidas de la lluvia [13]. Se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones. Los principales cationes y aniones causantes de dureza se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1: Cationes y Aniones causantes de dureza en el agua [1]

Cationes	Aniones
Ca^{++}	HCO_3^-
Mg^{++}	SO_4^{--}
Sr^{++}	Cl^-
Fe^{++}	NO_3^-
Mn^{++}	SiO_3^-

En menor grado Al^{++} y Fe^{++} son causantes de dureza. Se expresa como partes por millón de carbonato de calcio equivalente. La dureza produce incrustaciones en sistemas de agua caliente, calderas, torres de enfriamiento y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua [1].

1.1.3. Aspectos biológicos del agua

En el agua se desarrollan organismos que obtienen de esta nutrientes orgánicos, los heterótrofos, y los autótrofos que obtienen sustancias inorgánicas [14]. Se da el ciclo biológico, materia orgánica es el alimento de *microrganismos* que la desintegran hasta elementos inorgánicos, estos organismos a su vez sirven de materia alimenticia de formas de vida superiores, con su muerte son materia orgánica fuente de alimento [15].

En el agua existen desde *microrganismos* hasta formas de vida *complejas* adaptadas a diferentes condiciones químicas y físicas [15]. Los organismos afectan las características químicas y físicas del agua. El cambio en la cantidad de oxígeno presente en una fuente indica una alteración en su biología [13].

Para diferentes usos del agua existe un rango de tolerancia de organismos en el líquido. Se distinguen dos tipos de análisis microbiano, para agua potable se debe controlar los microorganismos patógenos potencialmente transmisibles que son algunas bacterias, virus y protozoarios [14] y en el agua de uso industrial se controla los organismos causantes de problemas, existen tres grupos de organismos que se presentan generalmente en los análisis de aguas industriales: bacterias, hongos y algas, las bacterias aerobias son las que mayor problema generan al formar lamas [13].

1.1.4. Fuentes de agua

Una fuente de abastecimiento de agua es el punto donde se desvía temporalmente el agua del ciclo natural para ser usada [15].

Para la selección de una fuente para abastecimiento de agua se incluyen consideraciones en función del agua como su calidad, cantidad disponible, seguridad de abastecimiento y costo [15].

Algunas de las fuentes de agua son:

- **Agua meteórica:** El término meteórica es aplicado al agua que se precipita desde la atmósfera. Puede ser lluvia, granizo, nieve o escarcha.
- **Agua superficial:** Es el agua que se colecta o fluye en la superficie para formar corrientes, lagunas, lagos o embalses.
- **Agua subterránea:** Es el agua que se sumerge en la tierra y está en forma de manantiales o que se saca mediante pozos. En la Figura 1.1 se muestra la clasificación de fuentes de agua aprovechables [1].



Figura 1.1: Fuentes de agua [1].

Una de las fuentes que no se considera en la clasificación de Trujillo [1] es el agua de mar.

Comparación de calidad en fuentes

El agua disuelve y desintegra los materiales con los que está en contacto [16], por lo que, las características del agua se relacionan con los elementos con los que ha interactuado. El carácter del agua, de manera general, está relacionado con su fuente, por supuesto hay excepciones ya que se pueden dar condiciones fuera de lo común [16]. El agua meteórica al descender disuelve gases y recoge sólidos suspendidos que están en la atmósfera, en general la cantidad de impurezas es pequeña. El agua de la lluvia comúnmente es suave, saturada de oxígeno, insípida y puede tener un carácter ácido [1]. Las aguas superficiales de manera general tienen un contenido mayor de sólidos suspendidos que las aguas subterráneas debido a la filtración, absorción, purificación, que se da a medida que el agua se filtra en la tierra. Así también, las aguas subterráneas por el contacto mayor con estratos rocosos tienen un contenido mineral más alto que las aguas superficiales.

Las aguas subterráneas en general tienen menores variaciones en sus características a lo largo del tiempo relacionado con las de fuentes superficiales. En el caso de las aguas superficiales, las corrientes tienen una mayor variación en sus características que el agua de lagos, lagunas y embalses, en los que, además, por la quietud de las aguas, se da sedimentación purificando el agua [16] [1].

El agua de manantiales comúnmente se conoce por ser clara, pero con posible turbidez en periodos de lluvias [16]. El agua en un pozo profundo (aquel que pasa a través de un estrato impermeable hasta localizar el agua) [16], tienen agua más altamente mineralizada que pozos poco profundos, pues esta en general aumenta según la profundidad de la fuente.

De la calidad de la fuente dependerá el proceso de tratamiento que se dé al agua, de allí la importancia de seleccionar una fuente con la cual se consiga la mayor eficiencia posible.

1.1.5. Usos de agua

Los usos del agua son diversos para la humanidad, los usos principales en el Ecuador son [17]:

- Agua potable
- Saneamiento
- Riego y drenaje

- Energía eléctrica
- Industriales y otros

1.1.5.1. Uso industrial

Los usos básicos del agua en la industria son [18]:

- Transferencia de calor
- Generación de energía
- Aplicación de procesos: agua para transporte de materiales, agua para lavado, agua como materia prima, aplicaciones que pueden ser exclusivas de una sola industria.

1.1.5.1.1. Agua de calderas

Corresponde a un uso del agua para transferencia de calor en la industria. Se suministra calor a un área de un complejo industrial mediante vapor, el que es producido aprovechando el calor de combustión que se da en el proceso industrial, combustión de productos de desechos o recuperando el calor de algún proceso de alta temperatura, el dispositivo donde se produce el vapor es la caldera. El vapor es el principal medio de transmisión industrial de calor [18].

1.1.5.1.2. Agua de enfriamiento

Corresponde a un uso del agua para transferencia de calor en la industria. Los sistemas de enfriamiento se dan mediante circulación de agua en los equipos, pueden ser sencillos como el bombeo de agua fría de una fuente natural cercana y descargar agua caliente, o sistemas de recirculación con un proceso de enfriamiento del agua en una torre o un estanque, lo que implica un consumo considerablemente menor de agua. Otro método de enfriamiento consiste en introducir hielo al sistema industrial [18].

1.1.6. Tratamiento según impurezas y usos del agua

La selección del tratamiento depende principalmente de las características del agua de la fuente y el uso.

Para agua potable es necesario eliminar o inactivar cualquier impureza que cause daño a la salud, en cambio las aguas para uso industrial tienen requerimientos de calidad diversos según su empleo.

Para definir la tratabilidad del agua se debe determinar los parámetros de diseño de sistema de tratamiento, determinar la eficiencia del tratamiento [1].

Impurezas en el agua: localización y tratamiento

Algunas impurezas objetables son:

Bicarbonato HCO_3^-

El contenido de CO_2 en el agua produce la disolución de minerales que contienen carbonatos, también se da contaminación por aguas residuales principalmente por contenido de detergentes.

El control de la alcalinidad es importante principalmente en usos industriales de calderas y agua de enfriamiento en sistemas de evaporación por estar relacionada con la formación de

incrustaciones. Se debe reducir la alcalinidad para estos usos ya sea por ablandamiento o mediante acción directa de un ácido. También es objetable en industrias de bebidas pues interfiere en los sabores ácidos, en industrias textiles en donde interfiere con colorantes ácidos.

Calcio Ca^{++}

Es el componente principal de la dureza en el agua, se introduce en esta por la acción disolvente sobre piedra caliza y yeso principalmente.

La dureza es causa de incrustaciones, se requiere su reducción para sistemas de enfriamiento con torres y en otros usos como agua para calderas se debe eliminarlo por completo. En la elaboración de textiles puede producir la precipitación de ciertas anilinas, dando como resultado manchas o estrías en los artículos teñidos, o bien, puede originar una mayor absorción de la tintura y coloraciones más profundas. El calcio se reduce mediante procesos como ablandamiento, intercambio catiónico.

Magnesio Mg^{++}

Produce, por lo general, la tercera parte de la dureza la otra parte es causada por el calcio. Causando El magnesio es un componente primordial de minerales como la dolomita, magnesita y variedades de arcilla. Causa similares problemas que el calcio. Para la reducción de magnesio el agua se trata por ablandamiento, intercambio iónico.

Cloruro Cl^{-}

Todas las sales de cloruro son solubles en el agua y prácticamente todas las formaciones geológicas las contienen ya que alguna vez fueron sedimentarias del mar. También las aguas de desechos las contienen. El cloruro de sodio en el agua potable es objetable debido a su sabor. El único proceso químico capaz de eliminar los cloruros del agua es el intercambio aniónico, sin embargo, algunos procesos físicos pueden separar el agua en dos corrientes, una con menor contenido de cloruros.

Materia orgánica

Constituye parte del suelo, es utilizada para el metabolismo de especies vivas, también proviene de actividades realizadas por el hombre como la agricultura, es inevitable encontrarla en el agua. La materia orgánica puede ser soluble o insoluble en el agua. La materia orgánica se registra como carbono presente en el agua COT. Existen diferentes índices para medir el contenido de materia orgánica, algunos de estos son: DBO (Demanda bioquímica de oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), el color. Muchas aguas toman un color amarillento debido a la descomposición de la materia orgánica. Es indeseable especialmente por razones estéticas, a pesar de que también existe materia tóxica que puede causar daño a animales. También influye en procesos industriales. La materia orgánica en forma coloidal puede tratarse por coagulación. Puede eliminarse mediante tratamiento con carbón activado [13].

1.2. Tratamiento de agua

Los suministros de agua deben cumplir con tres requisitos [16]:

- Suficiente para cubrir requerimientos presentes y futuros
- Disponibles caudales y presiones para satisfacer las máximas demandas
- Calidad apropiada para el uso

1.2.1. Métodos de purificación

Los procesos de tratamiento pueden dividirse en 4 grupos [2], como muestra la figura 1.2, que presenta una descripción esquemática de estos.



Figura 1.2: Clasificación de los procesos de tratamiento de agua [2].

A continuación, se describe los procesos de clarificación, desinfección y algunos procesos requeridos para el acondicionamiento de agua para enfriamiento y de calderas.

Clarificación

Los procesos de clarificación tienen como objetivo separar partículas del agua, básicamente son tres: la coagulación y la floculación que son solo procesos preparatorios para el tercero, separación de partículas, este puede ser por sedimentación o filtración o ambos consecutivamente [2].

1.2.1.1. Coagulación

1.2.1.1.1. Conceptos preliminares

Las formas en que una sustancia puede estar en el agua son [2]:

1. Disuelta cuando se encuentra disgregada dentro del agua. Tamaño: menor de 10^{-6} mm. Átomos y moléculas.
2. En estado coloidal cuando se encuentran partículas pequeñas dispersas en el agua. Tamaño: De 10^{-6} mm a 10^{-3} mm. Bacterias.
3. Suspensión cuando partículas grandes están flotando en el agua. Tamaño: Mayor a 10^{-3} mm

1.2.1.1.2. Definición

La coagulación consiste en una anulación de cargas eléctricas de partículas o desestabilización de partículas suspendidas, es decir eliminar las fuerzas que las mantienen separadas con el objetivo de que mediante el posterior proceso de tratamiento, la floculación, se aglutinen entre ellas en masas con mayor peso específico, los flóculos [2].

1.2.1.1.3. Proceso de coagulación

Existen dos modelos para explicar el proceso: un físico y un químico [2].

Modelo físico

Las partículas coloidales tienen una doble capa eléctrica: su parte sólida tiene una carga e iones con carga contraria se acumulan cerca de su superficie (contraiones) para neutralizar cargas. A su vez, estos contraiones están dispuestos en dos capas, una adherida a la partícula y otra formada debido a la agitación térmica del líquido que tiende a separar los contraiones de la superficie de la partícula llamada capa difusa [19].

En una partícula coloidal existen varios potenciales. Debido a la imposibilidad de separar iones y contraiones en un coloide, el único potencial que se puede determinar es el ubicado en el "plano de cizalla", este se encuentra donde se pueden separar los iones que se mueven junto con la partícula formando parte integral de ella del resto de la dispersión, está situado en algún punto de la capa difusa. Este se llama potencial Z [2].

Cuando dos partículas coloidales se acercan entre sí, actúan dos fuerzas una de repulsión debido a la carga coloidal y otra de atracción llamada de Van Der Waals.

Si se acercan lo suficiente la fuerza atractiva se hace mayor y los coloides se juntan.

Los coloides se aproximan a esta distancia cuando el potencial Z baja hasta un punto llamado isoelectrico, lo que es conseguido por introducción de contraiones en la capa difusa del coloide [2].

Modelo químico

El modelo comprende una interacción directa entre el coagulante y el coloide.

Se considera que la carga de las partículas coloidales se debe a los iones presentes en su superficie y al añadir iones metálicos polivalentes mediante los coagulantes se produce una interacción que termina en la precipitación de los coloides [19].

La Mer [2] propuso la teoría del puente químico, que supone la molécula del polímero adherida a la superficie del coloide mediante adsorción, dejando libre, extendida en el agua, el resto de la cadena del polímero, la cual puede pegarse de nuevo a otros coloides. Se forma así un puente químico con varios coloides incrementando el tamaño de partículas.

1.2.1.1.4. Fases de la coagulación

La coagulación se desarrolla en 5 fases consecutivas:

1. Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de partículas en suspensión por simple adsorción.
2. Precipitación y formación de compuestos químicos que se polimerizan
3. Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.
4. Adsorción mutua de coloides
5. Acción de barrido: al sedimentar los microflóculos formados atrapan en su caída nuevas partículas que se incorporan a su formación.

1.2.1.1.5. Sustancias químicas para la coagulación

- Coagulantes

Compuestos de aluminio o de hierro que actúan como polímeros desestabilizando coloides para la formación de los flóculos.

- Modificadores de pH

Debido a que el pH en la solución de agua con coagulante es de fundamental importancia en la formación del flóculo pues en todas las reacciones entre coagulante y agua los iones H^+ y OH^- están involucrados, se utilizan sustancias para ajustar el pH. Las principales son: Óxido de calcio o cal viva y ácido sulfúrico.

- Coadyudantes de la coagulación

Sílice, polielectrolitos, entre otros compuestos que actúan como polímeros para convertir las partículas en más densas y firmes.

1.2.1.1.6. Factores que influyen en la coagulación

- Tipo de coagulante

- De Aluminio
- De Hierro

Los coagulantes de aluminio forman flóculos más ligeros en comparación a los formados con coagulantes de hierro, a pesar de esto, el sulfato de aluminio por su bajo costo es el más usado [2].

- Cantidad de coagulante

La cantidad que se añade de coagulante depende de las características del agua, es determinada mediante ensayos de laboratorio.

- Características del agua: físicas y químicas

Por ejemplo: el pH influye en la coagulación debido a que en todas las reacciones químicas los iones de H^+ y OH^- , la cantidad de coloides influye en la formación de flóculos, cuando es baja se necesita una cantidad relativamente alta de coagulante, como alternativa se puede adicionar arcilla para incrementar los coloides, así mismo, cuando la cantidad de coloides es alta se necesita alta cantidad de coagulante.

- Tiempo de retención de las unidades de mezcla

El tiempo debe ser instantáneo para la coagulación por adsorción y de algunos segundos para la coagulación por barrido, se debe disipar el coagulante en toda la masa de agua.

- Intensidad de mezcla

Si no hay suficiente velocidad en la mezcla la coagulación no se produce adecuadamente.

- Utilización de coadyuvantes de coagulación

Impulsan flóculos más densos, pesados.

1.2.1.1.7. Coagulante: Sulfato de Aluminio

Es el más utilizado para el tratamiento de agua.

Su fórmula química es: $Al_2(SO_4)_3$.

Es de color marfil generalmente.

1.2.1.1.8. Equipos

Cámaras de mezcla rápida

Los reactivos químicos se deben distribuir de manera rápida y uniforme por toda la masa de agua, para lograrlo se deben aplicar los reactivos en puntos que tengan la turbiedad suficiente para este fin.

- Hidráulicos
 - Resalto hidráulico
 - Deflectores

- Mecánicos

Mezcladores hidráulicos

Aprovechan la energía del agua para producir la mezcla.

Resalto hidráulico: se produce cuando el flujo pasa de un régimen rápido a uno lento, lo que produce agitación, pérdida de carga. Se pueden utilizar estructuras como vertederos, canaleta Parshall, etc.

En la figura 1.3 se muestra un mezclador hidráulico de resalto hidráulico.

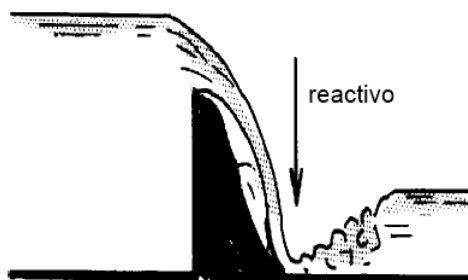


Figura 1.3: Mezclador hidráulico de resalto hidráulico [3].

Mezcladores mecánicos

Son equipos mecánicos de agitación. Constan de un motor.

Dosificadores

Los dosificadores son dispositivos para descargar cantidades prefijadas de sustancias en un tiempo determinado.

Existen dos tipos según la forma de aplicar la sustancia:

- Dosificadores en solución: Dosifican la sustancia en forma líquida. Los más conocidos son:
 - Dosificadores en solución de orificio de carga constante: mediante un orificio sale la sustancia de un tanque. Este tanque debe tener un nivel de agua constante, lo que se logra con una válvula de flotador.

En la figura 1.4 se muestra un dosificadores en solución de orificio de carga constante.

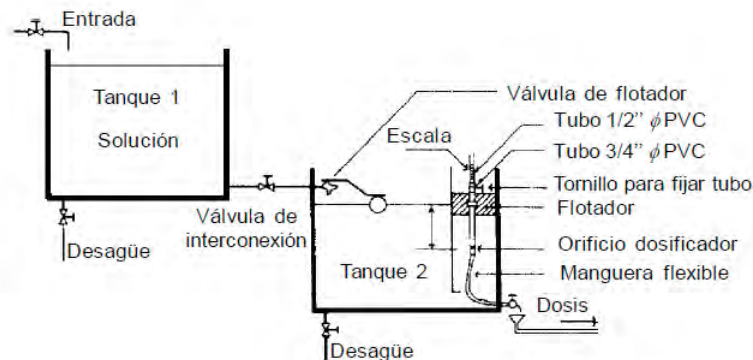


Figura 1.4: Dosificador en solución de orificio de carga constante [4].

- Bombas dosificadoras: Son del tipo aspirantes de diafragma o de pistón. Son accionadas por un conjunto motor reductor, donde el desplazamiento del diafragma o de pistón puede ser regulado con una frecuencia de movimientos alternados de los desplazamientos, lo que permite ajustar el volumen, es decir la dosificación.
- Dosificadores en seco: Se usan para dosificar productos en seco como sulfato de aluminio granular, cal, etc.

Se clasifican según la forma de medición de cantidades:

- Gravimétricos: la medida de la cantidad de producto se determina pesando el material o sobre la base de una pérdida de peso constante.
 - Tipo banda transportadora
 - Tipo pérdida de peso
 - Tipo tolva oscilante
- Volumétricos: funcionan por medio de un tornillo o disco giratorio sumergido en el producto, el cual es arrastrado por el movimiento del dosificador.
 - Tornillo giratorio
 - Disco giratorio

1.2.1.2. Floculación

1.2.1.2.1. Concepto

Es el proceso por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar partículas mayores (los flóculos).

El agua se agita para promover el crecimiento del microflóculo con el objetivo de alcanzar un tamaño y peso adecuado para la sedimentación.

1.2.1.2.2. Factores que influyen en la floculación

- Características del agua: físicas y químicas

Por ejemplo, algunos iones como el sulfato cuando están presentes en el agua pueden influir en la formación de las cadenas poliméricas, otro factor es la turbiedad, pues es directamente proporcional a la velocidad de formación de flóculos.

- Tiempo de floculación

La turbiedad residual después de la sedimentación varía con respecto al tiempo de floculación al que se haya sometido el agua. La permanencia del agua en el floculador un tiempo diferente al óptimo produce resultados inferiores.

- Intesidad de mezcla (Gradiente de velocidad)

El gradiente de velocidad se relaciona directamente con la velocidad de aglomeración de partículas.

1.2.1.2.3. Equipos

Cámaras de mezcla lenta (Floculadores)

Tienen como finalidad dar al agua una agitación lenta y decreciente para completar la formación del flóculo, grande y pesado para sedimentar.

Dependiendo del tipo de energía utilizado para la agitación se clasifican en:

- Floculadores hidráulicos

La agitación lenta se imparte mediante un conveniente diseño hidráulico, están compuestos por canales o compartimientos, con interconexiones, a través de las cuales el agua pasa el tiempo requerido con una intensidad de agitación decreciente óptima.

- De flujo horizontal

En la figura 1.5 se muestra un floculador de flujo horizontal.

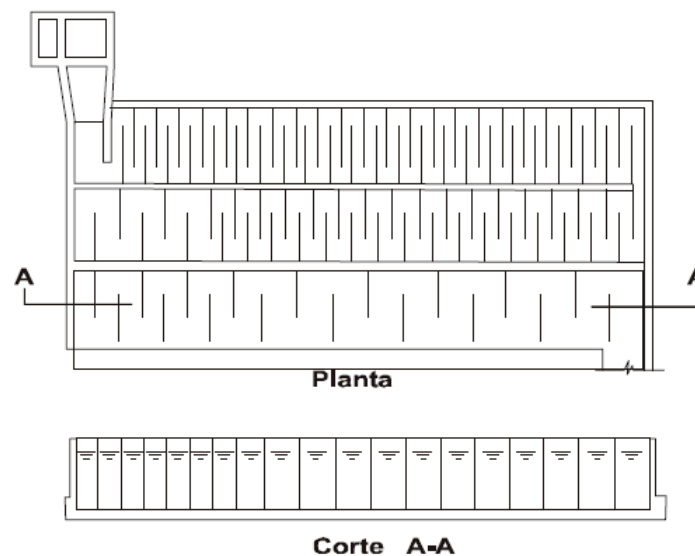


Figura 1.5: Floculador de flujo horizontal [5].

- De flujo vertical

- Floculadores mecánicos

Compuestos basicamente por un sistema de paletas fijo a un eje horizontal o vertical, con un motor. Los agitadores imparten movimiento al agua, pueden ser de paletas o de turbina.

1.2.1.3. Sedimentación

1.2.1.3.1. Concepto

La sedimentación es la remoción por efecto de la gravedad de las partículas en suspensión presentes en el agua.

Es un proceso físico que constituye uno de los más utilizados para el tratamiento de agua. Logra la clarificación del agua.

1.2.1.3.2. Procedimiento

La remoción de partículas en suspensión se obtiene al reducir la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en un determinado tiempo de retención. Para este proceso se utiliza elementos llamados sedimentadores.

En un flujo las partículas en suspensión están sujetas a dos fuerzas:

1. Fuerza horizontal resultante del movimiento del flujo
2. Fuerza vertical debida a la acción de la gravedad, que causa que la partícula sedimente con una cierta velocidad que depende de la naturaleza del fluido y de la partícula.

En un sedimentador la partícula avanza y baja simultáneamente hasta asentarse, principalmente, pero existen otros movimientos producidos por acción de corrientes pequeñas, viento, temperatura, etc., que se deben tomar en cuenta. El tiempo que le toma a una partícula asentarse debe ser justo menor al que le toma cruzar el sedimentador.

1.2.1.3.3. Factores que influyen en la sedimentación

- Calidad del agua

La concentración de las partículas en el agua modifica la forma en que se depositan, lo ideal es una baja concentración que permita la caída libre sin interferencias, así también, la densidad de las partículas influye en su velocidad de sedimentación.

- Condiciones hidráulicas

La presencia de flujo de pistón mejora el proceso. El flujo debe estar bien distribuido en toda la unidad. Así mismo se debe tener la velocidad de diseño en toda la unidad, un gradiente óptimo en estructuras de entrada y una recolección adecuada en la zona de salida.

- Floculación y coagulación

Ocasionan altas o bajas eficiencias en los sedimentadores, pues esta depende de la calidad de los flóculos.

1.2.1.3.4. Equipos

Sedimentadores

Solo se describe un tipo de sedimentador, el sedimentador laminar de flujo inclinado.

Sedimentador laminar de placas de flujo inclinado.

Son poco profundos y están formados por una serie de placas paralelas planas entre las cuales circula el agua mientras se van depositando partículas.

Presentan una zona de distribución de agua. Las pantallas se encuentran en la zona central, tienen una inclinación generalmente de 60°, el agua sedimentada se recolecta en la parte superior.

La recolección de lodos se realiza en tolvas y se drena por medio de un canal.

En la imagen 1.6 se muestra una configuración general de un sedimentador laminar de placas de flujo inclinado.

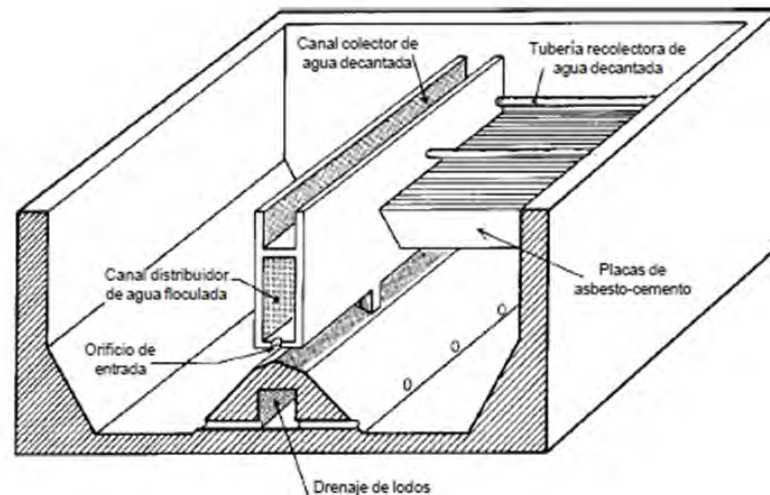


Figura 1.6: Sedimentador laminar de placas de flujo inclinado [5].

1.2.1.4. Filtración

1.2.1.4.1. Concepto

La filtración es el proceso de remoción de partículas suspendidas, coloidales, presentes en un líquido que escurre a través de un medio poroso. En una planta convencional es el proceso final de clarificación, entonces es el proceso encargado de lograr la calidad requerida en el agua tratada.

1.2.1.4.2. Procedimiento

La filtración es el resultado de dos mecanismos: transporte y adherencia. Inicialmente las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del lecho filtrante. Estas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan las acciones de las fuerzas por condiciones hidráulicas del escurrimiento.

- El transporte es fenómeno físico afectado por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas:
 - Cernido. Partícula de mayor tamaño que los poros del filtro queda atrapada.
 - Sedimentación. Se considera que las partículas se depositan en el medio filtrante.
 - Intercepción. El flujo laminar logra ser tan delgado que las partículas en suspensión son depositadas en el lecho filtrante.
 - Difusión. Se debe al movimiento errático que presentan las partículas suspendidas relativamente pequeñas debido al movimiento browniano (Partículas suspendidas siempre se desplazan a espacios de menor concentración de partículas), este hace que las partículas se adhieran a los granos del medio filtrante [2].
 - Impacto inercial. Las líneas de escurrimiento divergen al pasar por los granos del medio filtrante de modo que las partículas suspendidas colisionan con los granos.

- Acción hidrodinámica. Se da por velocidades tangenciales en dirección perpendicular al escurrimiento que hacen que las partículas relativamente grandes se depositen en los granos.
 - Mecanismo de transporte combinados. Es posible que todos estos mecanismos descritos de transporte actúen combinados [3].
- La adherencia entre partículas y granos del filtro es básicamente un fenómeno de acción superficial que es influenciado por parámetros físicos y químicos.

1.2.1.4.3. Factores que influyen en la filtración

- Características de la suspensión
- De modo general depende de: tipo de partículas suspendidas, tamaño, densidad, dureza entre otras.
- Características del medio filtrante
- Depende de: Tipo de medio filtrante, características granulométricas del material, peso específico del material filtrante, espesor de la capa filtrante.
- Características hidráulicas
- Las características que influyen son: tasa de filtración, carga hidráulica.

1.2.1.4.4. Equipos

Filtros rápidos

Pueden ser de dos tipos:

- Por gravedad
- Están constituidos por estructuras abiertas a la atmósfera en las que el agua fluye a través de material filtrante por medio de la gravedad. La filtración según la configuración hidráulica puede ser ascendente o descendente.
- En la figura 1.7 se muestra una configuración general de un filtro de flujo ascendente.

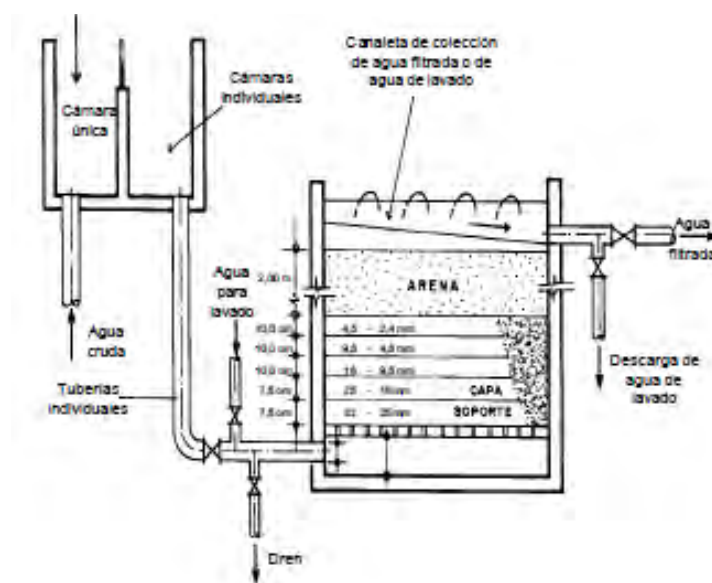


Figura 1.7: Filtro de flujo ascendente [3].

- A presión

Constan de un cilindro en lámina de acero cerrado, con dispositivos para el ingreso de agua y otro para la salida de agua filtrada.

Pueden ser de flujo ascendente o descendente con medios filtrantes constituidos por una o más capas.

Siempre que las características operacionales (tasas y niveles de agua en los filtros) y las del medio filtrante (material, granulometría, densidad, espesor) sean semejantes, la filtración a presión poco difiere de la realizada por gravedad.

En la figura 1.8 se muestra una configuración típica de un super filtro a presión vertical.

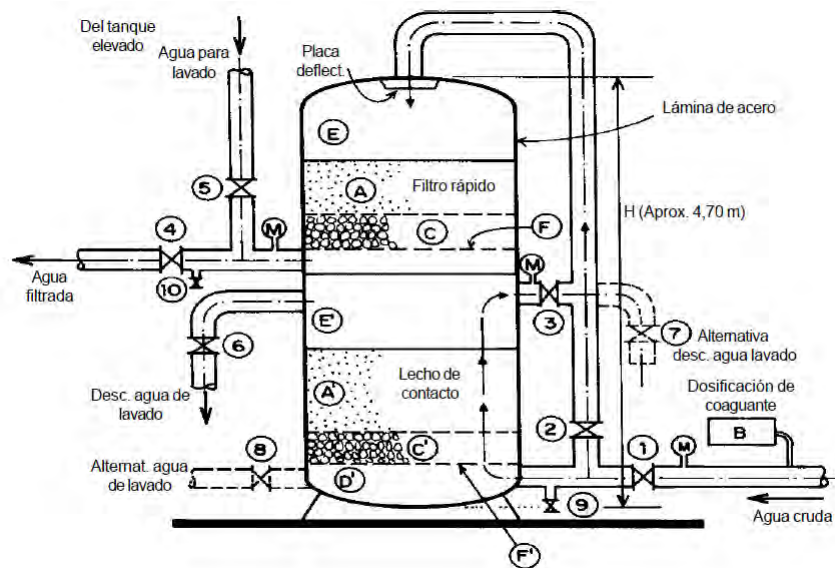


Figura 1.8: Superfiltro vertical a presión [3].

1.2.1.5. Desinfección

La desinfección es el último proceso de tratamiento en una planta convencional, tiene como objetivo garantizar la calidad del agua en referencia al aspecto microbiológico.

Las aguas suministradas pueden sufrir recontaminación en el almacenamiento o distribución, por lo que, la desinfección debe lograr protegerlas en estas situaciones posteriores al tratamiento.

1.2.1.5.1. Concepto

Desinfectar es eliminar del agua los microorganismos patógenos [3]. La desinfección se utiliza en procesos de tratamiento de aguas para diferentes usos, tiene como objetivo lograr los requerimientos respecto a la calidad microbiológica eliminando organismos indeseables.

1.2.1.5.2. Procedimiento

La desinfección se realiza en dos etapas:

1. La penetración de la pared celular por parte del desinfectante.
2. La reacción con las enzimas, inhibiendo el metabolismo del microorganismo, provocando su muerte.

1.2.1.5.3. Factores que influyen en la desinfección

- Los microorganismos presentes y su comportamiento
Según el tipo de microorganismo la reacción frente al desinfectante varía, debido a la resistencia de sus membranas celulares y la afinidad química con sus sustancias vitales. Las bacterias, en relación a los virus y protozoarios, son menos resistentes.
- La naturaleza y concentración del agente desinfectante
Las sustancias que se forman en el agua con el desinfectante tienen diferentes eficiencias, mientras la concentración del desinfectante está relacionada con el tiempo de contacto para matar a los microorganismos.
- Características del agua
Temperatura. Una mayor temperatura favorece la desinfección.
pH. Mientras más alcalina es el agua, requiere una mayor dosis de coagulante.
- Tiempo de contacto
Cuanto mayor tiempo de contacto mayor es la probabilidad de destrucción de microorganismos.

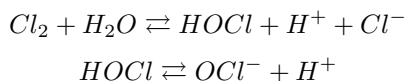
1.2.1.5.4. Cloración

Es el proceso de desinfección mediante cloro.

El cloro es un oxidante, el desinfectante más importante que existe, debido a su fácil dosificación y costo conveniente. Algunas desventajas son: es corrosivo, requiere seguridad en su almacenamiento y manejo.

Comportamiento del cloro en el agua

El cloro disuelto en el agua se disocia de acuerdo con:



El cloro con el agua forma el ácido hipocloroso ($HOCl$) y este se disocia en iones hipoclorito (OCl^-). El ácido hipocloroso y el ion hipoclorito forman el denominado cloro activo libre. El $HOCl$ es el desinfectante por excelencia y su poder es mucho mayor que el OCl^- .

El cloro además al entrar en contacto con el agua reacciona con sustancias como el amoníaco formando cloraminas que tienen un bajo poder desinfectante en comparación con el cloro activo libre. Con otras sustancias reacciona y genera diferentes compuestos que no tienen ningún efecto desinfectante. Al cloro “gastado” en estas reacciones se le llama demanda de cloro.

1.2.1.5.5. Equipos

Se describe solo un equipo para dosificación de cloro gas: Clorador del tipo de solución al vacío.

Clorador del tipo de solución al vacío

Son los que succionan el gas por medio de un vacío producido en un inyector, que lo mezcla con agua para formar una solución que luego es conducida al punto de aplicación.

Están provistos de dispositivos que controlan e indican la dosificación de un flujo de cloro. se puede ajustar la dosificación en cualquier valor dentro del rango del equipo.

En la figura 1.9 se muestra una configuración típica de un clorador de solución al vacío.

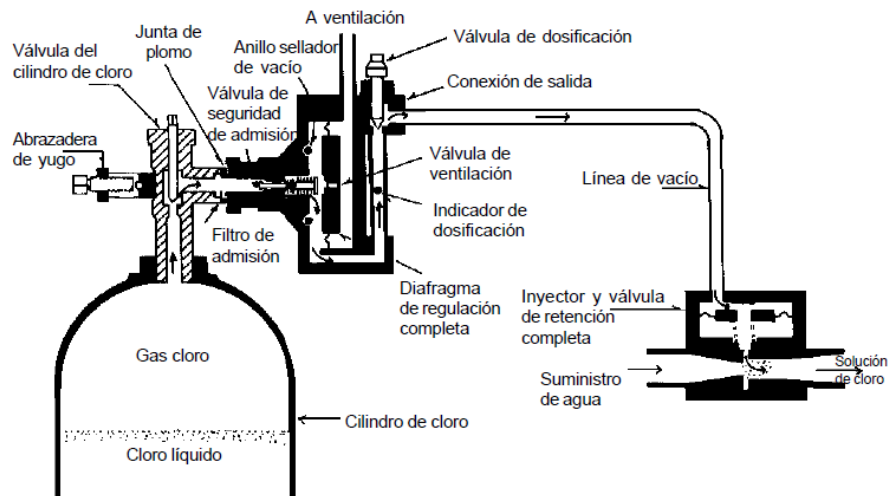


Figura 1.9: Clorador de solución al vacío [6].

1.2.2. Equipos de conducción

1.2.2.1. Rejilla

La rejilla sirve para impedir el paso de materiales flotantes o sumergidos.

Los tipos de rejilla más usados son:

- Rejillas de barras: Se fabrican con acero inoxidable

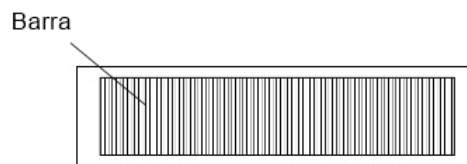


Figura 1.10: Rejilla de barras.

- Rejillas de mallas: Se fabrican con alambre tejido de acero inoxidable.
- Láminas con orificios

Pueden ser de limpieza manual o mecánica.

1.2.2.2. Válvula

Los fluidos al ser transportados por tuberías requieren una regulación. Las válvulas realizan esta función mediante una pieza movable que abre u obstruye parcial o totalmente el conducto.

Existen variedades de válvulas debido a las distintas capacidades de conductos, clases de fluido, temperaturas, tipos de tuberías, conexiones, formas de operar.

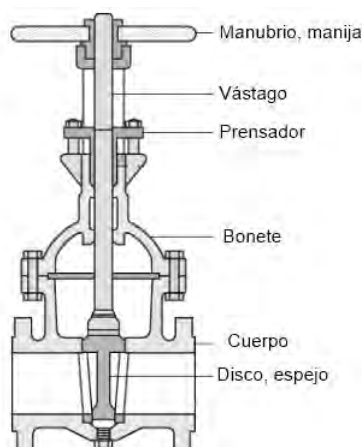


Figura 1.11: Partes generales de una válvula [7].

Válvulas de retención o válvulas check

La función principal de esta válvula es evitar el cambio de dirección del fluido, son autónomas. Uno de los mecanismos es el tipo bisagra, consiste en un disco embisagrado que se abre con la fuerza de empuje producida por el flujo y se cierra cuando existe un contraflujo [20].

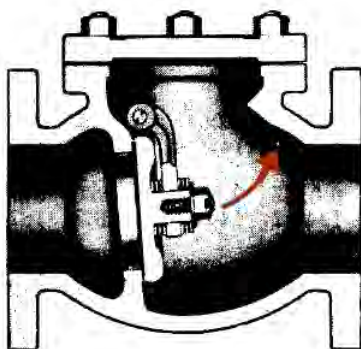


Figura 1.12: Válvula de retención de bisagra.

Válvulas de compuerta

Esta válvula regula el flujo. Cuando está completamente abierta la sección mantiene la misma área de la tubería. Abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla permitiendo así el paso del fluido.

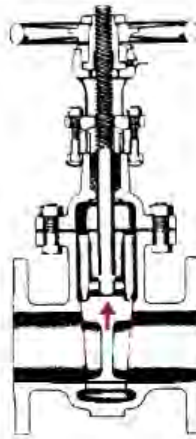


Figura 1.13: Válvula de compuerta.

Válvulas de globo

Esta válvula posee un tapón obturador en forma de cono sujeto y accionado por un vástago para abrir, cerrar o regular el flujo.



Figura 1.14: Válvula de globo.

1.2.2.3. Bomba

Es una máquina que tiene como función impulsar el agua a través de conductos cerrados a distancias o niveles diferentes. Transforma energía mecánica en hidráulica.

Existen diversidad de diseños y tamaños. Unas de las más comunes son las centrífugas.

En la imagen se muestra partes de un sistema de bombeo.

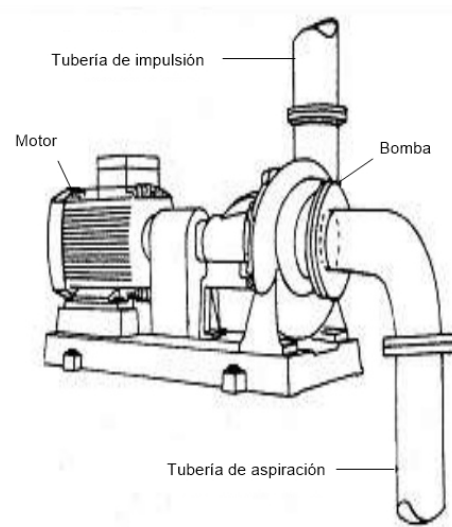


Figura 1.15: Partes generales de un sistema de bombeo.

Bomba centrífuga

Consiste en un rodete dentro de una cámara. Se conecta directamente a un motor eléctrico.

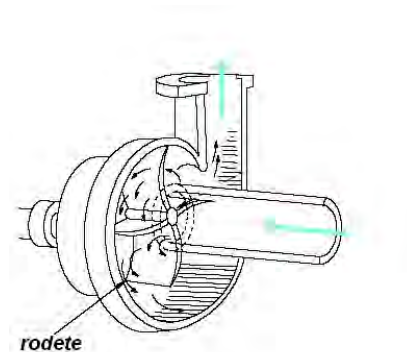


Figura 1.16: Bomba centrífuga.

1.2.3. Tratamiento del agua para enfriamiento

En la industria se usa agua para enfriar. Algunos elementos que se enfrían son [16]:

- Condensadores en plantas de energía, refinerías, plantas químicas
- Máquinas de combustión interna
- Compresoras en la refrigeración o manufacturación de gases líquidos
- Tubos en las estaciones radiotransmisoras
- Productos químicos

1.2.3.1. Especificaciones del agua de enfriamiento

Las especificaciones del agua de enfriamiento varían de acuerdo a las condiciones de uso:

- **Sistemas abiertos de un solo paso:** debido a que el agua solo se usa una vez el tratamiento debe ser lo más barato posible.
- **Sistemas abiertos de recirculación:** El agua recircula por el sistema de enfriamiento, se enfría en una torre o estanque y luego vuelve a pasar por el equipo. Parte del agua se evapora en su enfriamiento. En estos sistemas solo necesita tratarse el agua de reposición que es generalmente el 10 %.
- **Sistemas de circulación en circuito cerrado:** El agua enfría equipos y pasa por intercambiadores de calor de aire o agua. Teóricamente no es necesaria agua de compensación, pero en la práctica es necesaria una pequeña cantidad. El agua debe tratarse al principio y en cualquier compensación.

1.2.3.2. Tratamiento

El agua de enfriamiento puede tratarse por cualquiera de los siguientes métodos:

- **Coagulación, floculación, sedimentación, filtración.** La eliminación de impurezas puede realizarse por coagulación, floculación, sedimentación, filtración. Además, se puede requerir un agente desinfectante como cloro. se requiere dosificadores, cámaras de mezcla, sedimentadores y filtros.
- **Proceso de cal en frío.** Los reactivos usados son la cal para reducir la dureza, alumbre como coagulante seguido de una dosis de ácido sulfúrico para ajustar la alcalinidad del efluente. Se necesita: ablandador, dosificador de cal, dosificador de alumbre, dosificador de ácido y frecuentemente filtros.
- **Intercambio catiónico en ciclo sódico.** Elimina prácticamente toda dureza. Se requiere un equipo de intercambio catiónico [16].

1.2.4. Tratamiento del agua para calderas

1.2.4.1. Especificaciones del agua de calderas

El agua natural al evaporarse deja un residuo mineral. Este residuo puede ser formador de un depósito, este término se utiliza para partículas adherentes en las calderas, los depósitos a diferencia de otros sedimentos no se pueden purgar.

1.2.4.2. Tratamiento

1.2.4.2.1. Tratamiento externo del agua de calderas

Los procesos usados para agua de compensación de calderas (en algunos casos no existe recuperación de condensados así que la compensación es del 100 %.) son:

- **Proceso de intercambio catiónico ciclo sódico (Zeolitas).** Este proceso consiste en un pretratamiento del agua con cal para reducir la dureza, alcalinidad, y en algunos casos sílice, seguido por un tratamiento con ablandadores de intercambio catiónico con intercambiadores de zeolita.

- **Proceso de intercambio catiónico ciclo hidrógeno.** Este elimina completamente la dureza, reduce la alcalinidad, el contenido de sólidos disueltos. Una desventaja es que no reduce el contenido de sílice. Se utiliza una unidad de intercambio catiónico, desgasificador, alimentador de sosa cáustica.
- Otros procesos son: Proceso de cal sodada e intercambio catiónico en ciclo sódico, proceso de cal sodada en frío, proceso de cal sodada en caliente.

1.3. Evaluación de sistema de tratamiento de agua

La evaluación de un sistema de tratamiento de agua comprende un análisis detallado del funcionamiento y comportamiento físico de cada una de las partes que lo conforman, de su eficiencia y de la forma que está siendo operado, controlado, mantenido y administrado.

Como resultado de una evaluación de un sistema de tratamiento se obtendrá información que permite mejorar la eficiencia del sistema.

Una evaluación con un análisis integral del sistema de tratamiento debe incluir el funcionamiento y comportamiento físico y químico, así como, identificar limitantes de producción de cuatro categorías: administración, diseño, operación y mantenimiento.

1.3.1. Evaluación técnica

Es un retrato del estado técnico en que se encuentra un sistema en su conjunto, cada uno de sus equipos e instalaciones. Sirve para determinar los fallos que presenta en un momento determinado e incluso que puede presentar en el futuro.

1.3.2. Evaluación operativa

Es el examen crítico, sistemático e imparcial de la gestión de una entidad, para determinar la eficiencia con que logra los procesos establecidos y la efectividad con que se utiliza los recursos con el objetivo de sugerir mejoras. Comprende: administración, diseño, operación y mantenimiento.

1.4. Operación, mantenimiento y control en procesos de tratamiento de agua

Todo sistema de tratamiento de agua debe estar diseñado para que pueda producir y distribuir agua con los requerimientos necesarios con un manejo adecuado.

Para un manejo adecuado de un sistema este debe contar con 4 factores [21]:

- **Confiabilidad.** Todos los equipos de planta deben poder operar con parámetros mínimos y máximos, en condiciones extremas. Así, los operadores tienen la capacidad de responder adecuadamente a los cambios.
- **Flexibilidad.** El sistema debe poder operar aun cuando se presenten daños. Para esto debe contar con unidades alternas disponibles.
- **Mano de obra.** Es necesario que el personal esté capacitado para responder ante cualquier situación.
- **Control.** Los equipos de control deben proveer la máxima confiabilidad.

1.4.1. Operación

La operación es el conjunto de actividades adecuadas y oportunas que se efectúan para que todas las partes del sistema funcionen en forma continua y eficiente según las especificaciones de diseño

1.4.2. Mantenimiento

El mantenimiento se realiza con la finalidad de prevenir o corregir daños que se produzcan en las instalaciones.

1.4.2.1. Mantenimiento preventivo

Es el que se efectúa con la finalidad de evitar problemas en el funcionamiento de los sistemas

1.4.2.2. Mantenimiento correctivo

Es el que se efectúa para reparar daños causados por acciones extrañas o imprevistas o deterioros normales del uso.

1.4.3. Actividades de operación

La operación se puede clasificar en 4 tipos:

- Operación de puesta en marcha
- Operación normal
- Operación eventual
- Operación de emergencia

1.4.3.1. Operación de puesta en marcha

Estas operaciones se ejecutan habiendo finalizado la etapa constructiva y se repiten cada vez que la planta sale de operaciones, implica: inspección preliminar, operaciones iniciales y llenado de la planta.

1.4.3.2. Operación normal

Se considera que un tratamiento está en operación normal cuando está produciendo el caudal para el cual fue diseñado con la calidad requerida. Comprenden una serie de actividades rutinarias en las unidades.

1.4.3.3. Operación eventual

Se produce como consecuencia del mantenimiento, daños menores y otras causas que impliquen la salida de operación, implica también la parada de la planta, esta se requiere de forma programada para vaciar el sistema y ejecutar labores que se requieran en seco.

1.4.3.4. Operación de emergencia

Ocurre por fuerza mayor y se presenta en forma imprevista. Fallas graves o desastres.

1.4.4. Manual de operación, mantenimiento y control de calidad

1.4.4.1. Generalidades

Contiene información específica sobre el tratamiento y sobre procedimientos para la operación, mantenimiento y control de calidad del sistema. Este documento sirve para todas las personas vinculadas al manejo de la planta, desde el jefe hasta el operador.

1.4.4.2. Redacción del manual

Al ser un documento dirigido a operadores, deben tomarse en cuenta los siguientes criterios:

- Las instrucciones deben ser directas y simples, evitando conceptos teóricos
- Hacer uso terminológico usual de los operadores.
- Emplear diagramas, esquemas y tablas para facilitar la comprensión de los procedimientos de operación.
- Incluir formularios modelo para recolectar información del manejo.
- Contener un inventario de equipos que se deberá operar.

1.4.4.3. Contenido

El contenido recomendado es:

- Datos de la institución
- Descripción general de la planta
- Actividades de operación, mantenimiento
- Control de calidad

Además, deben incluirse los siguientes documentos como anexos:

- Planos
- Memoria de cálculo y diseño
- Catálogos de equipos proporcionados por el fabricante.

Descripción sistema de tratamiento de agua para la CTD

2.1. Marco Institucional

La Empresa Electro Generadora del Austro S.A. cuenta entre otras centrales de generación con la Termoeléctrica El Descanso, misma que requiere agua con características específicas para sistemas del proceso de producción de energía y servicios generales (no interfieren directamente en los equipos de generación), para lo cual dispone de un sistema de abastecimiento propio que capta el agua del río Cuenca y una planta de tratamiento de agua.

2.1.1. Empresa electro generadora del Austro

La Compañía Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A. inicia sus actividades el 27 de agosto de 1999 como resultado de la escisión de la Compañía Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

La empresa tiene como objetivo generar energía para el mercado eléctrico ecuatoriano.

ELECAUSTRO S.A., está conformada en el nivel directivo por la Junta General de Accionistas, integrada por: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, H. Consejo Provincial del Azuay, Ilustre Municipalidad de Cuenca, H. Consejo Provincial del Cañar, H. Consejo Provincial de Morona Santiago, Ilustre Municipalidad de Sígüig, Ilustre Municipalidad de Santa Isabel, Ilustre Municipalidad de Biblián, Ilustre Municipalidad de Morona.

La generación eléctrica la realiza mediante 4 centrales hidroeléctricas y 1 termoeléctrica: Centrales hidroeléctricas Sauca y Saymirín que forman el Complejo Hidroeléctrico Machángara, Central Hidroeléctrica Ocaña, Mini Central Gualaceo y Central Termoeléctrica El Descanso. La empresa cuenta con proyectos en ejecución: Central Eólica MINAS DE HUASCACHACA, los proyectos hidroeléctricos Soldados-Yanuncay, y en estudio: Ocaña II [22].

2.1.2. Central termoeléctrica El Descanso

2.1.2.1. Descripción general

La central cuenta con cuatro unidades de generación interna de fabricación japonesa marca NIIGATA cada uno de 4 800 kW de capacidad, es decir, una potencia total instalada de 19,2

MW. Esta central se interconecta con el sistema distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

2.1.2.2. Proceso de generación de energía

La generación cuenta con tres etapas: De la combustión se obtiene energía térmica con la cual se produce energía mecánica a través de las unidades de generación de combustión interna, utilizan como combustible crudo residual más el 5 % de diésel, y la conversión de energía mecánica a energía eléctrica en el generador. El proceso se realiza a la par con el funcionamiento de varios sistemas: enfriamiento, lubricación, entre otros que se requieren.

2.1.2.3. Localización Geográfica

La central Termoeléctrica El Descanso está ubicada en la Zona 6 del Ecuador, en las orillas de la confluencia de los ríos Cuenca y Burgay. El acceso a la central es por la vía Panamericana Norte (Cuenca-Azogues), Km 15, en el sector denominado El Descanso.

En la figura 2.1 se muestra la ubicación de la central en la región.



Figura 2.1: Ubicación de la central en la región

2.1.2.4. Instalaciones de la Central Termoeléctrica El Descanso.

Casa de Máquinas

Una nave industrial aloja los cuatro grupos motor-generadores, junto a elementos de los sistemas auxiliares como: enfriamiento, lubricación, transporte de combustible.

Se encuentran el equipamiento de control y maniobra.

Adicionalmente se dispone de equipamiento como tanques de combustible de búnker, compresores, tanques de lodos.

Equipamiento y maquinaria externos

Próximo a la casa de máquinas se sitúan elementos del sistema de enfriamiento, sistema de vapor y agua blanda, tanques de almacenamiento de combustible. Se dispone de un sistema de abastecimiento de agua con captación en el río Cuenca, tratamiento en una planta convencional.

Posee una planta de regeneración de residuos líquidos (Planta API). Se dispone de un sistema contra incendios.

Bodegas

Talleres de Mantenimiento

Instalaciones de servicios generales, administrativos y de guardianía

La central dispone de un conjunto de edificaciones que se encuentran alejadas de la zona de generación eléctrica.

Áreas de recreación y espacio verde

2.2. Tratamiento de agua para la Central Termoeléctrica El Descanso (C.T.D.)

Fuente

El sistema de abastecimiento propio de la CTD consiste en una captación del río Cuenca que conduce el agua hacia sus instalaciones y la trata en una PTA, las características de esta fuente no son las adecuadas para un abastecimiento para agua industrial debido a varias razones de inestabilidad y mala calidad de agua. Toda fuente superficial tiene mayor variación en las características de la agua que las subterráneas. La fuente tiene descargas no naturales muy cercanas, como la de aguas tratadas residuales de la ciudad de Cuenca, y algunas industriales. Existe explotación minera en las inmediaciones que produce contaminación. La captación se encuentra después de que el río recorre varias poblaciones incluida la totalidad de la ciudad de Cuenca, por lo que se produce contaminación.

2.2.1. Captación

Función: Captar el agua necesaria para el funcionamiento de la C.T.D.

Elementos principales de la captación:

- Un canal de derivación de hormigón
- Una rejilla de entrada
- Tanque
- Dos Compuertas

Corresponde a una toma por derivación directa.

Consiste en un tanque construido en la orilla del río Cuenca, al cual llega un canal de derivación lateral de hormigón inclinado con respecto al eje del río. Existe una reja que impide la entrada de material suspendido. El tanque es un espacio designado como desarenador. Existe una compuerta al final del canal y una en el tanque, para la remoción de material acumulado. Del tanque parte la conducción.

2.2.2. Conducción

Función: Conducir el agua desde la captación a la planta de tratamiento de agua

Elementos principales de la conducción:

- Tuberías
- Válvulas
- Bombas

Consta de un tramo de conducción por gravedad y otra por bombeo. Es un conducto mediante tubería.

2.2.2.1. Conducción por Gravedad

Desde la captación hasta la estación de bombeo. El flujo no se conduce a presión, tiene un flujo con la sección no llena. El conducto es de hormigón y es subterráneo en la mayoría del tramo. Existen 7 válvulas. La longitud aproximada de la tubería es de 1300 metros, tiene un diámetro nominal de 200 mm.

2.2.2.2. Estación de bombeo

El agua mediante la conducción por gravedad llega a un reservorio de $18m^3$ de capacidad [8], desde donde es bombeada a la planta. Cuenta con dos bombas.

2.2.2.3. Conducción por Bombeo

En el segundo tramo el agua es transportada mediante bombeo por tubería de acero subterránea en la mayoría del tramo. La longitud aproximada de la tubería es de 60 metros, tiene un diámetro nominal de 80 mm.

2.2.3. Tanque de recepción de agua cruda

Función: Receptar el agua cruda.

Mediante bombeo el agua cruda llega a un tanque de $3,7m^3$. El agua pasa por una rejilla de malla al salir del tanque y es conducida hacia el proceso de coagulación.

Elementos principales de la recepción:

- Tanque
- Rejilla de malla
- Válvula para desagüe

2.2.4. Tratamiento de agua

La planta es de tipo convencional.

Los procesos de tratamiento de los que dispone son:

- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

Diseñada para operar con un caudal promedio de 15 l/s [8].

2.2.4.1. Coagulación y Floculación

Desde el tanque de recepción el agua es conducida hacia la cámara de mezcla rápida, que consiste en un resalto hidráulico mediante un vertedero rectangular. Se utiliza el coagulante sulfato de aluminio. La dosificación se da por vía húmeda. La solución es preparada en dos tanques de 1000 litros [8] con orificio graduable conectados a tuberías que llevan la solución hacia una canaleta dosificadora ubicada a lo largo del resalto. Una vez aplicado el coagulante el agua pasa al proceso de mezcla lenta en floculadores hidráulicos de flujo horizontal, son tres cámaras.

Elementos principales:

- Vertedero rectangular
- Tanques de nivel constante
- Dosificador
- Floculador hidráulico de flujo horizontal.

2.2.4.2. Sedimentación

Se dispone de un sedimentador laminar de placas de flujo inclinado. El agua floculada pasa desde el floculador a la zona de entrada del sedimentador, desde donde se dirige a un canal sumergido que la distribuye en la parte inferior de las placas. El agua circula por las placas de asbesto cemento del sedimentador que están inclinadas un ángulo de 60° . El agua sedimentada es recolectada por tubos agujerados en la parte superior del sedimentador, estos la dirigen hacia un canal lateral que descarga en un tanque de almacenamiento.

Los lodos son depositados en una tolva, cuya descarga es un tanque, donde mediante bombeo se los dirige al desagüe general de la PTA.

Elementos principales:

- Sedimentador laminar de flujo inclinado
 - Zona de entrada
 - Zona de sedimentación
 - Zona de salida (canal de agua sedimentada)
- Tanque de almacenamiento de agua sedimentada

2.2.4.3. Filtración

Existen dos filtros rápidos a presión de flujo vertical descendente de tasa constante, presión variable. Son filtros de lecho simple, solo arena, con una capa soporte de grava. El agua sedimentada es bombeada desde el tanque de almacenamiento igualitariamente hacia la parte superior de los dos filtros y la salida del agua filtrada es por la parte inferior cuya descarga es en un tanque de almacenamiento. El accionamiento del bombeo del agua hacia los filtros tanto la sedimentada como la filtrada para el retrolavado puede ser manual o automático.

Parte del agua filtrada es almacenada en otro tanque que se encuentra debajo de los filtros, esta agua es utilizada para el proceso de retrolavado de los filtros mediante bombeo.

Elementos principales:

- Dos filtros rápidos a presión de flujo vertical descendente
- Bombas
- Tanque de almacenamiento de agua filtrada

2.2.4.4. Desinfección

Se realiza cloración mediante un clorador de tipo solución al vacío. El cloro gas por medio de un vacío producido en un inyector se mezcla con agua para formar una solución que luego es conducida a su aplicación en los tanques de almacenamiento. El cloro gas se almacena en un cilindro de 68 kg.

Elementos principales:

- Sistema de dosificación de alimentación por solución.

2.2.5. Almacenamiento de agua tratada

Existen dos tanques para el almacenamiento de agua tratada de $361m^3$ y $466m^3$ interconectados.

De estos tanques el agua tratada es distribuida a la CTD.

Elementos principales:

- Dos tanques de almacenamiento.

2.3. Demanda de caudal de la CTD

La cantidad de agua consumida por la CTD está definida según su uso, este varía, por ejemplo, no siempre la CTD utiliza sus cuatro generadores, lo que produce una demanda irregular. Se puede clasificar en dos grupos el agua necesaria en la central: en maquinaria de producción de energía y para servicios generales que no intervienen en el proceso de producción de energía. Los usos del agua en la CTD se detallan en el capítulo 3. Se utiliza agua potable abastecida por la Empresa Municipal de Agua Potable de Azogues, EMAPAL. Para maquinaria y sistema contra incendios la fuente es el sistema de abastecimiento propio que capta agua del río Cuenca y la trata la PTA.

2.3.1. Proceso de determinación de la demanda de agua de la CTD

No se encontró documentos que indiquen la demanda de agua de la CTD. Se procede a medir el caudal consumido.

Consumo en maquinaria

Se midió la disminución del nivel de agua, Δh , en los tanques de almacenamiento mientras no existía aporte de agua desde la PTA. Se calculó el consumo, Q .

$$Q = \frac{\Delta h x A}{\Delta t}$$

Donde:

Q : Consumo de los tanques de almacenamiento

Δh : Disminución de nivel de agua de los tanques de almacenamiento

A : Área total de los tanques de almacenamiento

Δt : Tiempo en el que se da, Δh

En la tabla 2.1 se muestra los datos registrados para el cálculo del consumo, Q y el resultado.

Consumo de la CTD con 4 motogeneradores		
Δh	A	Q
<i>cm/hora</i>	<i>m²</i>	<i>l/s</i>
5	411,15	5,71

Tabla 2.1: Consumo de la CTD con 4 motogeneradores.

Consumo en servicios generales: Sistema contra incendios

Como se ha indicado anteriormente en este trabajo, los dos tanques de almacenamiento existentes están interconectados, de estos es tomada el agua tanto para maquinaria como para servicios generales. Pero el diseño original habría sido que el tanque N2 sea para almacenar agua para el sistema contra incendios y el otro para el resto de usos según indicó el operador de la PTA. Por lo cual la capacidad de este tanque sería el agua requerida para incendios. Este no es un consumo permanente. Pero es importante tener en cuenta que nunca pueden los dos tanques tener menos de la cantidad de agua que la necesaria para incendios, es decir la capacidad del tanque N2.

El valor de la cantidad de agua que se debe almacenar para incendios se muestra en la tabla 2.2.

Almacenamiento de agua para sistema contra incendios
<i>m³</i>
465,7

Tabla 2.2: Cantidad de agua requerida en almacenamiento para sistema contra incendios de la CTD.

[23]

2.4. Caudal de diseño de la PTA

El caudal de diseño de la bocatoma es de 10 l/s según consta en su informe final de diseño, realizado por el departamento de investigación, PROMAS (Programa para el Manejo del Agua y del Suelo), de la Universidad de Cuenca. Existe una discrepancia entre el trabajo de titulación realizado por Abdón Izquierdo [8] en donde se afirma que el caudal de diseño de la PTA es de 15 l/s. Como la PTA es anterior a la construcción de la bocatoma es ilógico que se haya aprobado construir una captación con un caudal de diseño menor al de la PTA. Lo que se pudo comprobar a través de mediciones de caudal realizadas durante todo el desarrollo de este trabajo, es que el caudal que entraba a la PTA en ningún registro fue superior a 11 l/s, es decir la captación, como es lógico, capta su caudal de diseño. El caudal de diseño que se asume es de 10 l/s.

2.5. Situación demanda de la CTD frente a producción de la PTA (Caudal)

El caudal promedio que ingresa a la PTA es mayor al requerido por la CTD.

Tabla 2.3: Demanda de la CTD frente a producción de la PTA (Caudal)

Consumo normal CTD	Producción normal PTA
l/s	l/s
5,71	10

Esta situación hace que la PTA se deba parar cuando el almacenamiento llega a su máximo. No se puede equiparar el caudal debido a las variaciones que existen en el consumo de agua de la CTD, además, la PTA no trataría el agua adecuadamente con un caudal menor al de diseño.

En la siguiente tabla se muestra la situación de la demanda de la CTD y la producción de la PTA en condiciones normales.

Tabla 2.4: situación de la demanda de la CTD y la producción de la PTA en condiciones normales

Situación	Almacenamiento		
	Agua en el almacenam- miento	Caudal	Nivel
		l/s	cm/h
CTD funcionando PTA sin producir	Disminuye	5,7	5
CTD funcionando PTA produciendo	Aumenta	4,28	3,8
CTD no funcionando PTA produciendo	Aumenta	10	8,8

En este trabajo con el fin de regular el funcionamiento de la PTA, se propone que esta debe pararse y ponerse en marcha conforme el nivel que se tenga en el almacenamiento, así:

Pararse: Nivel Máximo: Conforme a la capacidad de los tanques para que no rebocen

Ponerse en marcha: Nivel mínimo: conforme a un almacenamiento mínimo por seguridad, y garantizar el agua necesaria para el sistema contra incendios.

La cantidad mínima que debe existir en almacenamiento se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.5: Cantidad mínima que debe existir en el almacenamiento. PTA de la CTD

Usos del almacenamiento mínimo	Cantidad
	m^3
Agua para sistema contra incendios (Capacidad tanque que fue diseñado para este fin)	465.7
Reserva por seguridad para el funcionamiento de la CTD (10 % del almacenamiento)	36.1
Total	501.8

Entonces:

La operación de la PTA en lo referente a su puesta en marcha y parada debe darse conforme los niveles que se tenga en el almacenamiento mostrados en la tabla 2.6

Tabla 2.6: Niveles y cantidades máximas y mínimas que se deben tener en el tanque de almacenamiento N1. PTA de la CTD

	Unidad	Máximo	Mínimo
Cantidad	m^3	826.9	501.8
Nivel en el tanque de almacenamiento N1	cm	200	122

Requerimientos de calidad de agua necesaria en la Central Termoeléctrica El Descanso

El agua tal como se encuentra en la naturaleza no es utilizable directamente para la industria, porque salvo en casos esporádicos, no tiene las características requeridas para su utilización [18].

Para el funcionamiento de sistemas de una central termoeléctrica se requiere agua, cuya calidad depende del uso que se le da. El agua se utiliza en el sistema de enfriamiento de maquinaria, en calderas, en el sistema contra incendios, para servicios generales como sanitarios, riego. Si no se toman las precauciones necesarias, las impurezas que contiene el agua a causa de contaminación natural o artificial pueden afectar los procesos [18].

La CTD dispone de un sistema de abastecimiento propio que capta agua del río Cuenca y la trata en una planta de tratamiento convencional. Esta es la fuente para algunos de los requerimientos de agua, en ciertos casos, se necesita tratamientos adicionales.

Normativa de varias fuentes especifica la calidad del agua para este tipo de usos. Se dispone del manual sobre los elementos de la central de NIIGATA [24], fabricante de la maquinaria, en donde consta características del agua requerida para los equipos. En los reportes de análisis de agua en elementos de la CTD [25] realizados para control de calidad se da recomendación de parámetros.

3.1. Usos del agua en la CTD

Se puede clasificar en dos grupos el agua necesaria en la central: en maquinaria de producción de energía y para servicios generales que no intervienen en el proceso de producción de energía: el sistema contra incendios, usos sanitarios, riego.

Los usos de agua en la central se muestran en la Figura 3.1.

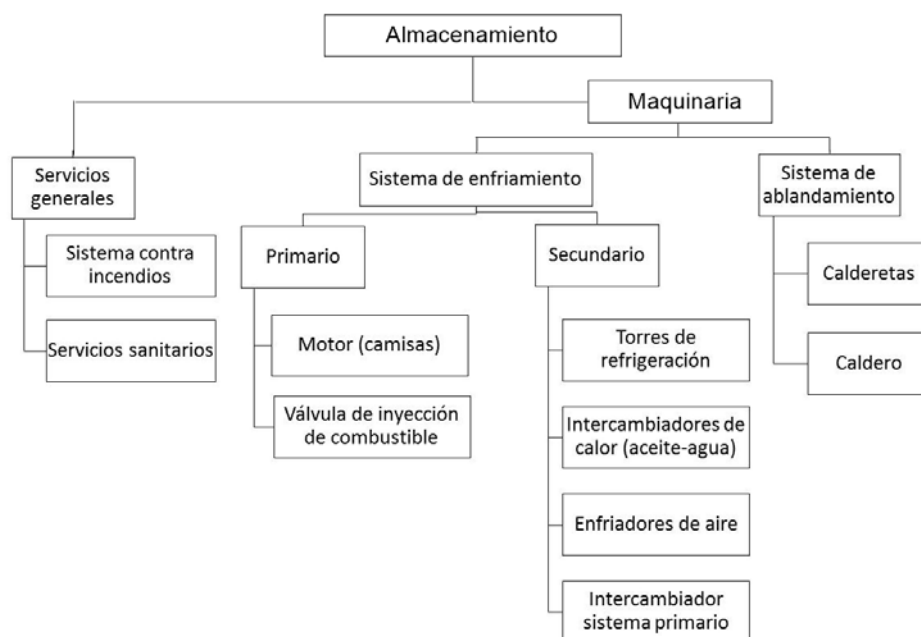


Figura 3.1: Mapa conceptual de los usos del agua en CTD.

A continuación se describen los servicios que presta el agua en la central.

■ Maquinaria

La central cuenta con cuatro unidades de generación interna de fabricación japonesa marca NIIGATA cada uno de 4 800 kW de capacidad, es decir, una potencia total instalada de 19,2 MW. En estado de operación normal, el combustible empleado para el funcionamiento de los grupos es crudo residual más el 5 % de diésel, mientras que para el arranque y parada de las unidades únicamente se usa diésel. Los generadores de combustión interna requieren agua en el sistema de enfriamiento. Adicionalmente, la central cuenta con cuatro calderetas, una por cada unidad, estas aprovechan la energía calorífica de los gases de escape generados por la combustión para producir vapor, el mismo que es utilizado para precalentar el combustible para poder ser utilizado en las unidades generadoras. La central posee un caldero adicional, que utiliza Diesel para producir vapor que es adicionado al vapor generado por las calderetas.

– Sistemas de enfriamiento

El sistema de enfriamiento tiene como función principal la regulación de la temperatura de trabajo de los moto generadores. Para el enfriamiento de los generadores de combustión interna se requiere de dos sistemas de enfriamiento:

- **Sistema de enfriamiento primario**

Son circuitos cerrados uno para las camisas del motor y otro para las válvulas de inyección de combustible. El agua de los circuitos no se expone a pérdidas por evaporación, sino que se enfría indirectamente en un intercambiador de calor, donde circula por serpentines que están en contacto con agua de menor temperatura del circuito secundario de enfriamiento proveniente de la torre de refrigeración.

- **Sistema de enfriamiento secundario**

Es un circuito semicerrado a través de una torre de enfriamiento, uno por cada motor generador. El agua se usa en sistema escalonado, pasa por el enfriador de aire, por el intercambiador de calor de aceite -agua, y por el intercambiador de calor de agua del sistema primario y se enfría en una torre de enfriamiento,

en donde por evaporación parte del agua cambia de fase y se transforma de fase líquida a vapor, que se elimina a la atmósfera, el resto de agua (no evaporada) se enfría y vuelve al enfriador de aire, cumpliendo un circuito. Para compensar la pérdida de agua por evaporación se añade agua desde los tanques de almacenamiento de agua tratada.

– **Sistema de agua blanda**

El agua después de ser tratada en la planta convencional pasa por ablandadores para obtener la calidad requerida por las cuatro calderetas y el caldero.

Se calienta agua en las calderetas y caldero que obtienen la energía de los gases producido por la combustión, pasa a transformarse en vapor que es utilizado para calentar el combustible crudo residual más el 5 % de diésel, que debido a su calidad debe ser calentado para usarse en las unidades de generación. Así la central aprovecha los gases producidos por la combustión.

El agua tratada es almacenada en dos tanques interconectados, de allí el agua se distribuye para los usos dentro de la central.

En la Figura 3.2 se muestra un flujograma de sistemas que requieren agua en la maquinaria.

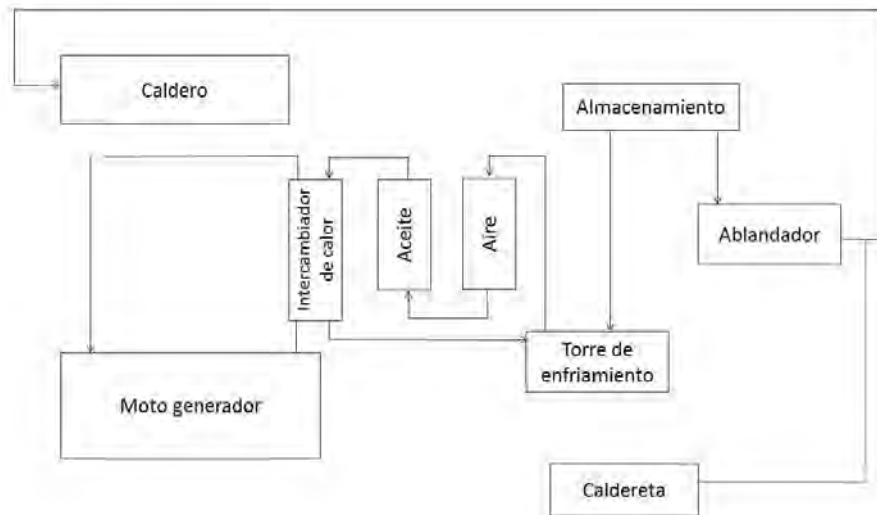


Figura 3.2: Flujograma de sistemas de CTD que requieren agua en la maquinaria.

3.2. Calidad requerida sistema de enfriamiento primario

El agua debe estar libre de sustancias que producirían problemas en los elementos del circuito.

3.2.1. Problemas a causa de la calidad de agua

En los sistemas de enfriamiento los problemas a causa de la calidad de agua son:

- Incrustaciones
- Corrosión
- Sedimentación
- Crecimiento biológico [16]

3.2.1.1. Incrustaciones

Se define como un depósito adherente sobre la superficie de transferencia térmica producida por impurezas sedimentadas o cocidas sobre la superficie [26]. Pueden llegar a producir taponamientos [16].

El principal material formador de incrustaciones en el sistema de enfriamiento es el carbonato de calcio.

El índice de Langelier es el valor en predecir las tendencias a la incrustación del agua de enfriamiento. Para el índice es necesario tener: (i) la alcalinidad al anaranjado de metilo, (ii) dureza de calcio, (iii) Sólidos totales, (iv) pH, (v) temperatura del agua máxima. A partir de este índice es posible predecir las tendencias del agua de enfriamiento [16].

El índice se define como la diferencia entre el pH del agua y el pH hipotético si estuviera en equilibrio con los carbonatos, así:

$$IL = pH - pH_s$$

El pH hipotético es función las variables mencionadas.

Si el índice es 0, el agua está químicamente balanceada.

Si el índice es positivo, es agua incrustante.

Si el índice es negativo, es agua corrosiva.

El carbonato de magnesio, el sulfato de calcio también producen incrustaciones en menor proporción que el carbonato de calcio, esto debido a que son más solubles, y, además, generalmente su contenido es menor que el calcio en aguas naturales. [16].

3.2.1.2. Corrosión

Es la acción química de un metal que se combina y forma un óxido por la acción del oxígeno o bien de un ácido o álcali sobre el metal lo que provoca su degradación y la pérdida de sus propiedades [26]. La forma más común de corrosión en materiales con hierro es la debida a oxígeno disuelto. Esta se acelera notablemente por los pH bajos, de manera que el agua de baja alcalinidad y alto contenido de bióxido de carbono libre, el ataque es mucho más rápido que el caso contrario. Este ataque se incrementa notablemente por un aumento de temperatura en sistemas de enfriamiento [16]. La corrosión también es producida por agua sulfurosa, esto se da cuando hay formación de sulfuros metálicos.

3.2.1.3. Sedimentación

Pueden llegar a formar taponamientos. Las aguas turbias que contienen suspensiones y que forman sedimentaciones son objetables en sistemas de enfriamiento [16].

3.2.1.4. Crecimiento biológico

Las bacterias de hierro y manganeso pueden volverse sumamente perjudiciales en los sistemas de agua de enfriamiento que contengan hierro y/o manganeso ya que forman grandes masas que limitan el flujo de agua. Otros organismos como las algas causan también problemas [16].

3.2.2. Características del agua

Para los circuitos cerrados de enfriamiento de las camisas del motor y las válvulas de inyección de combustible, el manual de NIIGATA, volumen 5 [27] define parámetros del agua suministrada y requerida en sistema de enfriamiento interno, por otro lado, en reportes de análisis de agua en la central realizados por la empresa Tesquimsa [25] se recomiendan varios parámetros.

Los parámetros definidos se muestran en la Tabla 3.1 junto con los problemas relacionados.

Tabla 3.1: Características del agua para sistema de enfriamiento primario de la C.T.D.

Parametro	Unidad	Agua suministrada	Agua circuitos de camisas e inyectores		Efecto relacionado
		Manual NIIGATA	Manual NIIGATA	Tesquimsa	
Turbiedad	UNT	10	15		Sedimentación
PH ($25^{\circ}C$)		6 – 8,5	7 – 8,5	< 10	Alcalino, ácido
Conductividad térmica ($25^{\circ}C$)		< 400	< 600		Presencia de sólidos disueltos
Alcalinidad al anaranjado de metilo M ($CaCO_3$)	Ppm	< 140	< 300		Incrustación
Dureza total ($CaCO_3$)	Ppm	< 80	< 120		Incrustación
Ion de cloro (Cl^{-})	Ppm	< 100	< 200		Forma ácido en el agua
Ion de ácido sulfúrico (SO_4^{-2})	Ppm	< 100			Corrosión
Ion de amonio (NH_4^{+1})	Ppm	< 10	< 10		Incrustación
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	Ppm	< 10	< 10		Corrosión
Hierro total (Fe)	Ppm	< 0,3	< 1	< 3	Crecimientos orgánicos
Sílice (SiO_2)	Ppm	< 30	< 60		Incrustación
ST	Ppm	< 400	< 800		Sedimentación
TDS				< 6000	Incrustaciones
Nitrito (NO_2^{-})				500 – 3000	

3.3. Calidad requerida sistema de enfriamiento secundario

3.3.1. Problemas a causa de la calidad de agua

Los problemas que pueden presentarse son los mismos que en el sistema de enfriamiento interno: Incrustaciones, corrosión, sedimentación y crecimientos orgánicos. Esquel [16] menciona que la única especificación general para cualquier sistema de enfriamiento es que el agua debe tener las características adecuadas para no causar estos problemas. Cuando el calor del agua se elimina por evaporación el agua recirculada aumenta su contenido de sólidos disueltos y su

potencial de formaciones de depósitos que generan problemas.

3.3.2. Características del agua

Al igual que en el caso del sistema interno, el manual de NIIGATA, volumen 5, Manual de instrucciones [27], define la calidad necesaria del agua suministrada al sistema y el agua que está recirculando. En los reportes de análisis de agua de Tesquimsa [25] se recomienda parámetros del agua. En Tabla 3.2 se muestran los rangos de las características del agua junto con los efectos asociados.

Tabla 3.2: Características del agua y problemas relacionados en el sistema de enfriamiento secundario.

Parámetro	Unidad	Agua suministrada	Agua sistema secundario		Efecto relacionado
		Manual NIIGATA	Manual NIIGATA	Tesquimsa(Torres)	
Turbiedad	UNT	10	15		Sedimentación
PH ($25^{\circ}C$)		6 – 8,5	7 – 8,5	7,5 – 8,9	Alcalino-Ácido
Conductividad térmica ($25^{\circ}C$)		< 400	< 600		Presencia de sólidos disueltos
Alcalinidad al anaranjado de metilo M ($CaCO_3$)	Ppm	< 140	< 250	< 100	Incrustación
Dureza total ($CaCO_3$)	Ppm	< 80	< 120	0 – 100	Incrustación
Ion de cloro (Cl^{-})	Ppm	< 100	< 200		Forma ácido
Ion de ácido sulfúrico (SO_4^{-2})	Ppm	< 100			Corrosión
Ion de amonio (NH_4^{+1})	Ppm	< 10	< 10		Incrustación
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	Ppm	< 10	< 10		Corrosión
Hierro total (Fe)	Ppm	< 0,3	< 1	< 5	Crecimientos orgánicos
Sílice (SiO_2)	Ppm	< 30	< 60		Sedimentación
ST	Ppm	< 400	< 800		
TDS				< 100	Incrustación
Alcalinidad P				< 100	Incrustación
Dureza de calcio				< 100	Incrustación
Fosfato				0,1 – 0,5	Incrustación
Cloruros				> 100	Corrosión
Índice de Langier				-0,5 – 0,5	

3.4. Calidad requerida en el sistema de agua blanda

La presión y la temperatura en la caldera determina la calidad del agua requerida. La regla general expone que cuanto más alta sea la presión, la calidad del agua de alimentación

de la caldera deberá ser mejor, debido a que condiciones de presión incrementa la tendencia a problemas como incrustaciones [14]. La presión de las calderetas de la central es $10\text{Kg}/\text{cm}^2$ [28]. La calidad se regula mediante el tratamiento del agua de alimentación (tratamiento externo), purga y tratamientos internos.

El manual de calderas [26] define cinco pasos posibles necesarios en el tratamiento de aguas en calderas:

1. Pretratamiento del suministro de agua bruta.
2. Tratamiento del agua de aportación que va a la caldera.
3. Tratamiento interno del agua en la caldera.
4. Tratamiento del condensado que está siendo retornado a la caldera.
5. Control de purga para eliminación de los precipitados en la caldera.

Se habla de calidad de agua de alimentación a la caldera y calidad de agua en la caldera. El agua en la caldera cumple un circuito cerrado por lo cual esta debe de estar libre de impurezas en un grado alto adecuado según los requerimientos a diferencia de un funcionamiento en circuito abierto que exigiría un tratamiento de grandes volúmenes de agua con el consiguiente encarecimiento. El agua de alimentación para las calderas requiere, además del tratamiento en la PTA convencional, de tratamiento de ablandamiento y tratamiento secundario que consta de la dosificación de químicos en los calderos para controlar los parámetros presentes en el agua de alimentación.

Los propósitos del tratamiento del agua de alimentación de caldera según el manual de la central de NIIGATA [28] son:

- Impedir las averías en la caldera y en el equipo en donde interviene el agua, debidas a una mala calidad del líquido.
- Mantener una alta eficiencia térmica para la caldera.
- Dar mayor seguridad en la operación de la caldera.

3.4.1. Problemas a causa de la calidad de agua

Según el manual de calderas [26] los problemas que se pueden dar por la calidad del agua son: incrustaciones, corrosión, natas y espumas, arrastres, fragilidad. Estos problemas se pueden dar en la caldera o en la maquinaria conectada que use vapor.

3.4.1.1. Incrustaciones

Se define como un depósito adherente sobre la superficie de transferencia térmica en el lado del agua producida por impurezas sedimentadas o cocidas sobre la superficie de calefacción.

Los problemas por incrustación son:

- La incrustación es un aislante muy eficiente del calor. Su presencia en grosores apreciables significa menor absorción de calor por el agua de caldera, con la consiguiente pérdida de eficiencia o rendimiento de caldera.
- Debido a que la incrustación es un mal conductor del calor, las superficies de calefacción de caldera aisladas del agua caliente por un lado y expuestas a los gases calientes por el otro, pueden alcanzar pronto temperaturas peligrosamente altas. Se puede dar roturas. [26].

3.4.1.2. Corrosión

El efecto corrosivo puede debilitar seriamente al metal, de modo que puede ocurrir un fallo inesperado de una parte del recipiente a presión de la caldera. Las principales causas de corrosión son:

- La acidez relativa del agua de caldera.
- La presencia de oxígeno disuelto en el agua de caldera.

Los parámetros principales por controlar son el oxígeno disuelto el pH y la conductividad eléctrica.

3.4.1.3. Natas y espumas

Las espumas son el resultado de la concentración de impurezas en el agua de las calderas. La materia orgánica también puede originar este problema. El efecto general del espumado es una reducción de la calidad del vapor por incremento de contenido de humedad de vapor. El espumado se puede eliminar o reducir con las siguientes condiciones:

- Reducción de la concentración de sólidos en el agua de la caldera.
- Eliminación de materias en el agua de la caldera.
- Reducción de la evaporación o de la frecuencia de los cambios de operación.

3.4.1.4. Arrastres

Todas las impurezas sólidas y líquidas llevadas fuera de la caldera por el vapor generado son consideradas como contaminaciones y conocidas comúnmente como *arrastre*. Las impurezas sólidas comprenden los sólidos suspendidos y disueltos que lleva esta agua y las sustancias normalmente sólidas transportadas en su fase de vapor. La cantidad permisible de arrastre en el vapor depende del uso a que esté destinado y del equipo a través del cual debe pasar el vapor.

Arrastre (priming) o *vómito* es el término usualmente reservado para la proyección de grandes volúmenes de líquido en el domo de vapor. El arrastre, causa que grandes volúmenes de agua pasen con el vapor, lo cual origina una caída súbita de la temperatura del vapor, golpe de ariete en las líneas de vapor y posibles daños en los álabes de la turbina.

3.4.1.5. Fragilidad

Es la falla o agrietamiento que puede ocurrir en el acero de las calderas, debido a una gran variedad de causas: Por lo general es el resultado de esfuerzos mecánicos o combinación de esfuerzos mecánicos y corrosión, puede ser también debido a esfuerzos mecánicos en presencia de sosa cáustica en concentraciones altas.

Es posible que ocurra fragilización cáustica del acero de las calderas cuando se emplea agua con hidróxido de sodio en exceso y cuando existe espacios estrechos adyacentes a las áreas sumamente tensionadas en las que puede haber sosa cáustica [16].

Para el control se debe regular estos elementos en el agua utilizada en la caldera.

Los problemas descritos se evitan con el control de la concentración de impurezas mencionadas.

3.4.2. Características del agua

Diferentes organizaciones dan normas para la calidad de agua de alimentación para calderas y de calderas, American Society of Mechanical Engineers (ASME) y American Boiler Manufacturers Association (ABMA) son dos organizaciones internacionales de investigación que agrupan a elementos sobre calderas.

La calidad del agua como ya se mencionó está relacionada a la presión de la caldera. Las calderetas tienen una presión máxima de $10Kg/cm^2$. En la tabla se dan los requerimientos según normativa de ASME y ABMA para esta presión. El Manual NIIGATA [27] recomienda parámetros de calidad para agua de alimentación y de las calderetas. Los parámetros definidos se muestran en la Tabla 3.3 junto con los problemas relacionados.

Tabla 3.3: Parametros del agua y problemas relacionados en el sistema de agua blanda.

Parámetro	Unidad	Agua de alimentación				Calderetas				Problema relacionado
		NIIGATA	ASME	ABMA	Tesquimsa	NIIGATA	ASME	Tesquimsa	ABMA	
Alcalinidad P	Ppm					80–600		50–1000		Incrust.
Alcalinidad M	Ppm				> 10	100–800		100–850		Incrust.
Alcalinidad total	Ppm						< 700		< 350	Incrust.
Dureza total	Ppm	< 2	< 1	$< 0,3$	< 5			< 5		Incrust.
Hierro Fe	Ppm		$< 0,1$	$< 0,1$	< 13			< 10		
Fosfato PO_4	Ppm					20–40		20–40		
pH		7 – 8,5		8,3 – 10,0	7 – 8,5	11 – 11,8		10,5 – 11,5		
TDS	Ppm					< 2500	< 3500	< 2500	700–3500	
Oxígeno disuelto O_2	Ppm	\downarrow^1	$< 0,007$	$< 0,007$						
Cloro	Ppm					< 400				
Silice	Ppm	< 20			< 20	< 200	70–50		< 150	

¹mantengala lo más bajo posible

Para el caldero, Tesquimsa [25] recomienda parámetros, las normas para la calidad de agua de alimentación para calderas ASME y ABMA dan los mismos rangos que para el caso de las calderas de la central que para el caldero, debido que la presión se encuentra en el mismo rango.

Los parámetros definidos se muestran en la Tabla 3.4 junto con los problemas relacionados.

Tabla 3.4: Características del agua y problemas relacionados en las calderas.

Parametro	Unidad	Caldero Problema relacionado	Problema relacionado
		Tesquimsa	
Alcalinidad P	Ppm	> 100	Incrustación
Alcalinidad M	Ppm	> 100	Incrustación
Dureza total	Ppm	< 5	Incrustación
Hierro Fe	Ppm	< 10	Crecimeintos orgánicos
Fosfato PO ₄	Ppm	30 – 60	Incrustación
pH		10,5 – 115	Alcalinidad-Acidez
TDS	Ppm	< 3500	Incrustación
Bicarbonatos	Ppm	0 – 100	Incrustación
Carbonatos	Ppm	> 100	Incrustación
Hidroxidos	ppm	200 – 1000	Incrustación
Sulfito (SO ₃)	ppm	30 – 60	Corrosión

Evaluación de la PTA de la CTD: Inspección general

La inspección general es el inicio de la evaluación. Los objetivos son conocer el sistema e identificar los problemas más evidentes, establecer la capacidad potencial de la planta, limitaciones para alcanzar la optimización de producción, efectuar un diagnóstico que sirva para orientar los recursos necesarios para la posterior evaluación de los procesos más críticos, determinar los recursos disponibles para siguientes etapas del proceso [4].

Procedimiento

Se realiza la inspección general según el manual de CEPIS, pero para cumplir los objetivos de este manual de analizar la forma que está siendo operada, controlada, mantenida y administrada la PTA, se adiciona el proceso de “Identificación de los factores que afectan la producción y asignación de prioridad entre ellos” de la Evaluación integral de la producción (EIP) que emplea la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), este tiene como objetivo un análisis integral del proceso de tratamiento identificando limitantes de producción de cuatro categorías: administración, diseño, operación y mantenimiento [10]. Por lo tanto, se realiza:

- **Inspección general** siguiendo los criterios dados por el manual para Evaluación de plantas de tecnología apropiada (EPTA) elaborado por CEPIS.
- **Identificación de los factores que afectan la producción y asignación de prioridad entre ellos** según la EIP del manual para optimación de la producción de plantas de tratamiento de agua mediante el Programa de Corrección Compuesto de EPA.

4.1. Inspección general, CEPIS

La inspección general de acuerdo a CEPIS comprende los pasos descritos a continuación.

4.1.1. Paso 1. Recopilación de información en el sitio

La información que es necesario reunir es la siguiente:

Archivos de control de operación de la planta
Planos de replanteo de obra de la planta
Esquema de flujo de la planta
Manuales de operación y mantenimiento
Manuales de los equipos
Presupuestos anteriores y el del año en curso
Capacidad de la planta

Se solicita esta información, pero no es proporcionada en su totalidad, se realizan trabajos de levantamiento de datos.

4.1.2. Paso 2. Recorrido por la planta

Se efectúa un recorrido por todo el proceso de tratamiento a evaluar. Se va llenando la ficha de inspección, Anexo A del Manual de EPTA. Se pregunta acerca de factores que limitan la producción.

4.1.3. Paso 3. Recopilación de datos de control de la operación

Se construyen gráficos a partir de información histórica de turbiedad, a fin de identificar la capacidad de tratar de cada unidad de la planta, la capacidad de amortiguamiento de los procesos.

4.1.4. Paso 4. Desarrollo del gráfico de potencial de producción

Se realiza una evaluación del potencial de producción que considera la capacidad de los procesos de tratamiento existentes para lograr los niveles de producción deseados. El gráfico de potencial de producción muestra los resultados de los principales procesos. Los procesos considerados por CEPIS para evaluar su potencial son: Floculación, Sedimentación, Filtración y Desinfección.

Se procede a determinar la capacidad máxima de tratamiento que tienen las unidades, sin tomar en cuenta si se presentan problemas de operación y se las compara con el caudal pico instantáneo que trata la planta.

Para definir el potencial de cada proceso principal de tratamiento se los denomina como de tipo 1, 2 o 3.

Tipo 1: capacidad excede el caudal pico.

Tipo 2: capacidad de 80 a 100 % del caudal pico.

Tipo 3: Capacidad de proyecto menor del 80 % del caudal pico.

El caudal pico instantáneo se identifica al revisar los registros de operación, observar las prácticas de operación y la capacidad de caudal.

4.1.4.1. Floculación

La floculación adecuada requiere el tiempo suficiente para aglomerar partículas. La capacidad de los floculadores se estima a partir del volumen de la unidad y del tiempo de retención hidráulica requerido para permitir que se formen los flóculos. Los tiempos de retención en los floculadores se seleccionan en función de la temperatura del agua y el número de etapas de floculación.

Se proporciona la Tabla 4.1, para seleccionar un tiempo de retención adecuado, T .

Tabla 4.1: Criterios para evaluar el floculador [4].

Características de la unidad	Temperatura del agua ($^{\circ}C$)	Tiempo de retención hidráulica (minutos)
Una sola etapa ¹	$< 0,5$	30
	$> 0,5$	25
Múltiples etapas	$< 0,5$	20
	$> 0,5$	15

Criterio

Tiempo suficiente para aglomerar partículas a fin de removerlas en los procesos de sedimentación y filtración.

Procedimiento:

- Definir el tiempo de retención adecuado, T
- Calcular el volumen de la unidad, V
- Calcular el caudal máximo, Q , que se puede tratar en forma satisfactoria, $Q = V/T$

4.1.4.2. Sedimentación

La remoción de sólidos suspendidos es el objetivo de la sedimentación.

La capacidad de la sedimentación se estima a partir de la tasa de sedimentación (TS) teniendo en cuenta el tipo de unidad, profundidad, uso de accesorios de sedimentación modernos por ejemplo sedimentador tubular y mecanismos de recolección de lodo. El manual de CEPIS proporciona una única tabla (ver Tabla 4.2) para seleccionar la tasa de sedimentación (TS), esta es referente a agua a $5^{\circ}C$. Para la evaluación se utiliza esta tabla a pesar de que la temperatura del agua en la planta de la C.T.D. es mayor a $5^{\circ}C$ [29] debido a que a mayor temperatura mayor es la tasa de sedimentación [9], pues es conservador. El manual utiliza esta tabla en su ejemplo con agua a temperatura de $20^{\circ}C$.

Criterio

El agua sedimentada debe tener un valor de turbidez de menos de 1 UNT en 95 por ciento del tiempo cuando la turbidez promedio del agua cruda es menor o igual a 10 UNT, y menor de 2 UNT en un 95 por ciento del tiempo cuando la turbidez promedio de agua cruda excede 10 UNT.

Procedimiento:

- Determinar el número de unidades, el área superficial de la zona de sedimentación y calcular el área superficial total, A
- Seleccionar la tasa de sedimentación que corresponde, TS
- Calcular el caudal máximo, Q , que se puede tratar en forma satisfactoria, $Q = A \times TS$

¹Cuando no existen deflectores ni compartimientos.

Tabla 4.2: Criterio de evaluación para los sedimentadores [4].

Unidades convencionales (circular y rectangular) y de contacto de sólidos				
Unidad convencional, profundidad (m)	Unidad de contacto de sólidos, profundidad	Modalidad de operación		
		Remoción de turbiedad $qs(m^3/m^2.d)$	Ablandamiento $qs(m^3/m^2.d)$	Remoción de color $qs(m^3/m^2.d)$
3,0	3,60-4,20	29,0	29,0	18,0
3,60-4,20	4,20-4,80	35,0	44,0	24,0
>4,20	>4,80	41,0	59,0	29,0
Unidades convencionales (circular y rectangular) y de contacto de sólidos con módulos de decantación tubulares ($> 45^\circ C$)				
Profundidad (m)	Modalidad de operación			
	Remoción de turbiedad $qs(m^3/m^2.d)$	Ablandamiento $qs(m^3/m^2.d)$	Remoción de color $qs(m^3/m^2.d)$	
3,0	59,0	88,0	29,0	
3,60-4,20	88,0	117	44,0	
>4,20	117	147	59,0	
Otros tipos de módulos			Tasa superficial $(m^3/m^2.d)$	
Sedimentadores tubulares horizontales ($> 45^\circ C$)			120,0	
Clarificador por contacto o absorción			527,0	
Laminas de placas paralelas			235,0	
Super Pulsator			88,0	
Con tubos			100,0	
Módulos Claricone para turbiedad			59,0	
Módulos Claricone para ablandamiento			88,0	

4.1.4.3. Filtración

Es el proceso final relacionado con la remoción física, por ende, deben tener altos niveles de eficiencia.

La capacidad se estima a partir de una tasa de filtración que varía según el tipo de medio.

Las limitaciones causadas por el taponamiento de aire también pueden tener un impacto en la tasa de carga seleccionada para estimar el potencial de producción de un filtro e influyen los valores de la tasa. El taponamiento por aire ocurre en los filtros cuando el aire sale de la solución por disminución de la presión o aumento de la temperatura del agua. El aire colmata los vacíos entre los poros de los medios filtrantes.

Criterio

Los filtros se evalúan a partir de su capacidad para lograr una calidad de agua tratada menor o igual a 0.1 UNT en 95 por ciento del tiempo sobre la base de un control de producción efectuado con una frecuencia mínima de 4 horas. Se proporciona la tabla 4.3, para seleccionar la tasa de filtración adecuada, TF .

Procedimiento:

- Determinar el área que ocupa el lecho filtrante de un filtro y el número de filtros
- Calcular el área filtrante total, A

- Seleccionar la tasa de filtración de acuerdo con el tipo de lecho filtrante, TF

Tabla 4.3: Criterio de evaluación para los filtros [4].

Tipo de lecho filtrante	Taponamiento por aire	Tasa superficial ($m^3/m^2.d$)
Arena sola	Ninguno	117,0
	Moderado	88,0
	Alto	59,0
Doble o mixto	Ninguno	234,0
	Moderado	176,0
	Alto	117,0
Profundo, > 1,50 m, generalmente de antracita	Ninguno	351,0
	Moderado	264,0
	Alto	176,0

- Calcular el caudal máximo, Q , que se puede tratar en forma satisfactoria, $Q = A \cdot x \cdot TF$

4.1.4.4. Desinfección

Es el proceso responsable de desactivar microorganismos.

En los requerimientos de la calidad del agua para la CTD consta el control de bacterias que puedan producir crecimientos orgánicos.

El siguiente procedimiento se usa para evaluar la capacidad de desinfección de la planta cuando solo se tiene posdesinfección, caso de la C.T.D.

Criterio y procedimiento

Se estima la reducción e inactivación logarítmica total de Giardia requerida por los procesos de tratamiento de agua.

Hay tres grupos diferentes de microorganismos que son transmisibles a través del agua: bacterias, virus y protozoos [9].

Los requisitos de la inactivación de Giardia, un protozoo, son generalmente los más difícil de cumplir en comparación a los requisitos sobre bacterias y virus, fundamentalmente en su estado de quiste, por lo que, se elige estos como base de la evaluación del proceso de desinfección [10, 30].

El requisito estandarizado consiste en la inactivación de 3 logaritmos para quistes de Giardia en agua para consumo humano [10]. Se elige este requisito para la calidad de agua de la CTD, que a pesar de que se trata de agua industrial, el solo hecho de que el tratamiento se lo realiza una planta convencional, al final del proceso de filtración se espera una remoción de quistes de Giardia de 2 [10], por lo cual, considerar una inactivación logarítmica menor después de la cloración implicaría un proceso desinfectante ineficiente. De esta forma la inactivación de quistes por cloración esperada es de 1 logaritmo.

La EPA emplea el concepto de concentración o dosis de desinfectante C multiplicado por el tiempo real durante el cual el agua tratada está en contacto con el desinfectante T . El valor de $T.C$ se puede usar para estimar las diversas remociones logarítmicas en condiciones específicas de operación.

El valor de $T.C$ se selecciona a partir de la capacidad de reducción logarítmica necesaria, el PH máximo, la temperatura mínima del agua tratada y el residual máximo desinfectante estimado de las tablas del Guidance Manual for Compliance With the Filtration and Disinfection Requirements for Public Systems Using Surface Water Source. Appendix E. 1991 [31].

El residual máximo considerado es de 2.5 mg/l. según CEPIS. Y como está dentro de los rangos de la calidad de agua para la *C.T.D* se toma como valor para la evaluación.

Se calcula el tiempo de tención requerido para el *T.C* seleccionado con la siguiente ecuación dada por CEPIS:

$$T_{req(min)} = \frac{T.C}{desinfectante_residual}$$

Donde:

Treq(min): Tiempo de retención mínimo requerido.

T.C: Requisitos de *T.C* a partir de las tablas de Guidance Manual for Compliance With the Filtration and Disinfection Requirements for Public Systems Using Surface Water Source. Appendix E. 1991 [31],

desinfectante_residual: Residual de desinfectante mantenido en el punto de salida del tanque de aguas claras.

Se procede a seleccionar un volumen efectivo de los tanques de agua clarificada que se refiere al volumen de una unidad que está disponible para proporcionar el tiempo de contacto con el desinfectante.

El volumen efectivo, si no se realiza un proceso más exacto, se puede obtener multiplicando el volumen total del reservorio por los factores indicados en la Tabla 4.4 dada por CEPIS.

Tabla 4.4: Factores que determinan el tiempo de contacto efectivo [4].

Existencia de pantallas	Factor	Características del tanque o reservorio de agua tratada
No tiene	0,1	Presenta turbulencia en el interior, alta velocidad de entrada y salida y nivel de agua variable.
Muy pocos	0,3	Entrada y salida simple o múltiple, directa y sin pantallas. Sin compartimentos internos.
Promedio	0,5	Entrada y salida con pantallas y algunos compartimentos internos
Superior	0,7	Entrada con pantalla perforada, pantallas interiores en forma de serpentín (similar a un floculador de flujo horizontal) o perforadas, vertedero en la salida.
Excelente	0,9	Compartimientos en forma de serpentín a lo largo de toda la unidad.
Perfecta	1,0	Flujo de pistón, como de tubería

Se calcula el caudal *Q* con el cual la planta alcanzará los valores de *T.C* requeridos para la desinfección con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{T_{req}}$$

Donde:

V : Volumen efectivo para unidades de desinfección.

Treq : Tiempo de retención mínimo requerido.

4.1.5. Paso 5. Elaboración de un diagnóstico previo

Se analiza la información obtenida y se elabora un diagnóstico que permite orientar la evaluación futura. Toda la información procesada se incluye en la ficha técnica elaborada en base al ejemplo del manual de CEPIS.

4.2. Identificación de los factores que afectan la producción y asignación de prioridad entre ellos

Este proceso está dentro de los parámetros de evaluación de la EIP que emplea la Agencia de Protección de los Estados Unidos para lograr una producción óptima de en una planta de tratamiento de agua.

Se emplea este para el cumplir de manera integral el objetivo de la inspección general del manual de CEPIS, conocer el sistema e identificar los problemas más evidentes, establecer la capacidad potencial de la planta, limitaciones para alcanzar la optimización de producción. Pues con este procedimiento se identifican factores de cuatro categorías que limitan la producción:

- Administración
- Diseño
- Operación
- Mantenimiento

Abarcando así un más amplio campo de parámetros para evaluarlos e identificar las causas fundamentales de las limitaciones de producción, no solo en relación con la capacidad de las unidades de tratamiento

Después de identificar los factores se aplica prioridad según el efecto adverso que tengan.

4.2.1. Identificación de los factores que afectan la producción

Se evalúan las áreas de administración, diseño, operación y mantenimiento para identificar los factores que limitan la producción. Se toman en cuenta 50 factores entre todas las categorías como lo determina el Manual de *Optimización de la producción de plantas de tratamiento de agua mediante el Programa de Corrección Compuesto* de EPA.

Esta evaluación se basa en información obtenida de visitas a la planta, entrevistas, resultados de la inspección general de CEPIS.

Las determinaciones se las realiza con el juicio del evaluador.

4.2.2. Asignación de prioridades ente los factores que limitan la producción

Se clasificó cada uno de los factores como A, B o C según los siguientes lineamientos mostrados en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Sistema de clasificación para asignar prioridades a los factores que limitan la producción [10].

Clasificación	Descripción
A	Son las principales causas de las deficiencias en la producción.
B	Causas que contribuyen habitualmente a la producción deficiente pero no son problema principal y aquellas que causan deterioro importante en la producción de la planta, pero solo periódicamente.
C	Factores que tienen un efecto menor sobre la producción.

4.3. Resultados

4.3.1. Inspección general, CEPIS

4.3.1.1. Paso 1. Recopilación de información en el sitio

La información disponible es la siguiente:

Archivos de control de operación de la planta

- Reportes de análisis de agua en la central realizados por la empresa Tesquimsa [25].
- Datos del Plan de manejo ambiental, Plan de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua [29].
- Ensayo de eficiencia de remoción de turbiedad y color de las unidades de la planta. Los resultados del ensayo se presentan en la Tabla 4.6, los mismos que son tomados de los resultados de laboratorio presentados en el Anexo B.

Parámetro	Unidad	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua filtrada
Turbidez	UNT	40.8	10.8	3.8
Color aparente	UC	243	56	27
Color real	UC	55	32	17

Tabla 4.6: Eficiencia del sistema de tratamiento.

Las unidades de tratamiento son eficientes, esto basado en que logran remover la turbiedad y el color del agua, logrando la turbiedad requerida en el agua filtrada.

Planos de replanteo de obra de la planta

- Planos de la P.T.A. de la C.T.D. se presentan en el Anexo A.

Esquema de flujo de la planta

En la Figura 4.1 se presenta el esquema de flujo del desde la captación hasta la distribución en el sistema de abastecimiento de la CTD.



Figura 4.1: Esquema de flujo del sistema de abastecimiento de la CTD desde la captación hasta la distribución.

Manuales de operación y mantenimiento

No existen

Manuales de los equipos

No se manejan

Presupuestos anteriores y el del año en curso

No solicitados, no inciden directamente en los objetivos de este trabajo.

Capacidad de la planta

La planta fue diseñada para operar con un caudal promedio de 15 l/s [8].

4.3.1.2. Paso 2. Recorrido por la planta

Las actividades dan como resultado parte de los datos de la Ficha técnica de la planta de tratamiento de agua para la Central Termoelectrica El Descanso (C.T.D).

4.3.1.3. Paso 3. Recopilación de datos de control de la operación.

No existe registros

4.3.1.4. Paso 4. Desarrollo del gráfico de potencial de producción.

La planta fue diseñada para operar con un caudal promedio de 15 l/s, se toma este valor como caudal pico.

a) Floculador

Volumen de la unidad (V)	21,21m ³
Tiempo de retención adecuado (T)	15minutos

$$Caudal(Q) = (21,21m^3 \cdot 1000l/m^3)/(15minutos \cdot 60s/minutos) = 23,57l/s$$

b) Sedimentadores

Área superficial total	$10,96m^2$
Tasa de sedimentación	$235,0m^3/m^2.dia$

$$Caudal(Q) = (235,0m^3/m^2.dia \cdot 1000l/m^3 \cdot 10,96m^2)/86400s/d = 29,81l/s$$

c) Filtros

Área filtrante total (A)	$33,28m^2$
Tasa de filtración (TF)	$117m^3/m^2.dia$

$$Caudal(Q) = (33,28m^2 \cdot 117m^3/m^2.dia \cdot 1000l/m^3)/86400s/dia = 45,07l/s$$

d) Cloración

Se define T.C con los siguientes datos de entrada:

Capacidad de reducción logarítmica necesaria

1 logaritmo

Temperatura mínima

$12^{\circ}C$ [29]

PH Máximo

7.96 [29]

Residual de cloro

2.5 mg/l

Entonces:

$T.C = 56,4$ [31] (Valor obtenido mediante interpolación)

Cálculo de tiempo requerido

$$T_{req}(min) = \frac{56,4mg/l * min}{2,5mg/l}$$

Capacidad de almacenamiento

Volumen total del reservorio (V_t) = $827m^3$

Factor que determinan el tiempo de contacto efectivo = 0,1

$$\begin{array}{ll} \text{Volumen efectivo (V)} & = 82,7m^3 \\ \text{Tiempo de retención mínimo requerido (Treq)} & = 23min \end{array}$$

$$Caudal(Q) = \frac{82,7m^3}{23min} = 3,67m^3/min = 61,10l/s$$

En la Figura 4.2 se muestra el gráfico de potencial de producción, todos los procesos unitarios poseen un potencial de tipo 1.

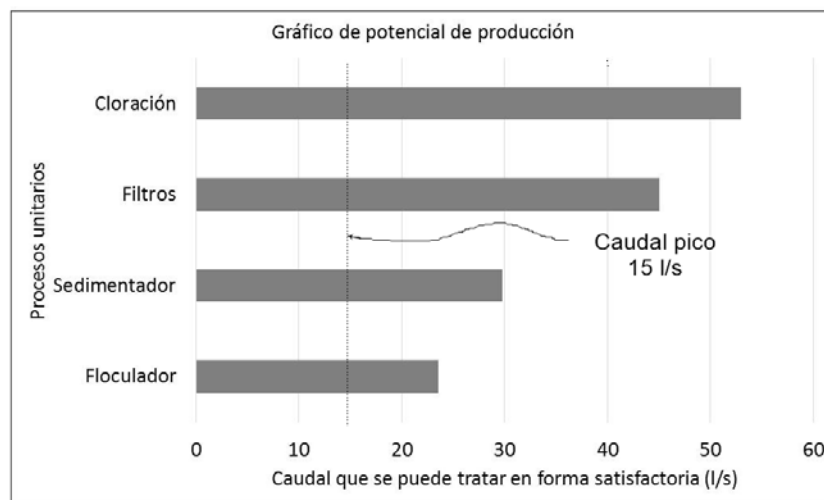


Figura 4.2: Gráfico de capacidad potencial de producción.

4.3.1.5. Paso 5. Elaboración de un diagnóstico previo

El análisis de la información obtenida y el diagnóstico que permite orientar la evaluación futura, toda la información procesada se incluye en la ficha técnica de la planta de tratamiento de agua para la Central Termoeléctrica El Descanso (C.T.D) 4.3.2.

4.3.2. Resultados de la Identificación de los factores que afectan la producción y asignación de prioridad entre ellos

Se identificó las siguientes limitantes de producción de la planta. Se consideró que otros numerosos factores no afectaban la producción de la planta. Los factores y las conclusiones que respaldan su selección se resumen a continuación.

- *Certificación - Categoría Administración. B.*

El operador principal de la planta realiza su trabajo de forma eficiente pues lo demuestran los informes de calidad existentes, toma las decisiones de operación y mantenimiento por conocimiento y experiencia, bajo la supervisión de personal profesional a cargo.

A pesar de ello algunas decisiones tomadas en temas relacionados con la calidad del agua no son en base a estudios técnicos.

- *Laguna de presedimentación - Categoría Diseño. B.*
No existe. Se produce depósitos en la estación de bombeo y otras unidades del sistema de tratamiento. Generalmente se dan problemas de producción durante eventos de alta turbiedad.
- *Medición de flujo - Categoría Diseño. A.*
No existe dispositivos para medición del flujo.
- *Mezcla rápida - Categoría Diseño. A.*
La dosificación de coagulante se realiza empíricamente.
- *Floculación - Categoría Diseño. B.*
Al final del proceso de floculación se produce un flujo no adecuado, la velocidad del flujo aumenta, con el cual el proceso podría verse afectado.
- *Capacidad de control de los procesos - Categoría Diseño. B.*
No existe un control de los parámetros del agua en ninguna de las etapas a excepción del almacenamiento final. Lo cual limita el ajuste o control de las unidades de tratamiento.
- *Espacio y equipo de laboratorio - Categoría Diseño. B.*
La planta cuenta con un espacio que utiliza personal de Tesquimsa para realizar pruebas, en este no se cuenta con equipo ni materiales para todas las pruebas de los parámetros del agua que constan en los requerimientos de la central. El operador no realiza ninguna prueba de parámetros del agua para la operación.
- *Pruebas de control de procesos - Categoría Diseño. A.*
El personal de la planta no mide ni registra el PH, la alcalinidad ni la turbiedad del agua cruda. Por consiguiente, no puede evaluarse el impacto de la calidad de agua cruda en la producción de la planta.
- *Programa de capacitación - Categoría Operación. B.*
No existe un programa de capacitación para los operadores en temas relacionados al tratamiento de agua. No existe un programa de capacitación para los operadores secundarios, a cargo de la planta ante la ausencia del operador principal.
- *Guías/procedimientos operativos - Categoría Operación. A.*
Carencia de una guía de procedimientos operativos de la planta, la operación se la realiza de manera empírica.
- *Programa de mantenimiento preventivo - Categoría Operación. B.*
No existe una guía para identificar y corregir los equipos que están funcionando inadecuadamente en la planta.

Ficha técnica de la planta de tratamiento de agua para la Central Termoeléctrica El Descanso (C.T.D).

Fecha: Recopilación de datos hasta 15/02/2019

■ Ubicación

- País: Ecuador
- Nombre de la Planta: Sin nombre. Se identifica la planta por su función como Planta de tratamiento de agua para la Central Termoeléctrica El Descanso de ELECAUSTRO S.A.
- Localidades abastecidas: No aplica. Abastece a la C.T.D.
- Localización: Departamento: No aplica; Provincia: Azuay; Distrito: No aplica (Zona 6); Distancia de la capital: Distancia capital provincial y zonal: 15 Km. Distancia capital del país: 473 Km; Altura: 2346 m.s.n.m.
- Institución propietaria o administradora: Empresa Electro Generadora del Austro S.A. ELECAUSTRO S.A

■ Fuente de Abastecimiento

- Fuente de abastecimiento: Se dispone de una toma por derivación directa que capta agua del río Cuenca, existe un cajón construido en la orilla que actúa como desarenador. La conducción consta de un tramo mediante gravedad y otro por bombeo. Antes de iniciar el primer tratamiento de coagulación, sedimentos quedan retenidos en la estación de bombeo, en el tanque de recepción.

■ Calidad de la fuente

Se muestra las Figuras 4.3, 4.4 y 4.5 con datos de algunos parámetros de calidad del agua cruda en base a las campañas realizadas desde 2009 hasta 2018, que corresponden al Plan de Manejo Ambiental, Plan de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Agua, ELECAUSTRO [29].

- Sólidos Suspendedos Totales (SST)
SST varían entre un valor menor a 10 mg/l y 206 mg/l
- Temperatura
La temperatura varía entre 12°C y 20°C
- pH
El pH varía entre 6.36 y 7.96

■ Características de la planta

- Caudal de la planta
 - Caudal de diseño: La planta fue diseñada para operar con un caudal promedio de 15 l/s [8].
 - Caudal de operación: No existen registros de caudal. Se realiza una medición el 8-feb-2018: 8l/s. Ese día el operador indicó que no eran condiciones normales, sino que se operaba con un caudal menor, pues no se estaba captando agua correctamente, por obstrucción en la rejilla. El operador regula el caudal con las bombas dependiendo del ingreso de agua a la estación de bombeo. El ingreso de agua depende del caudal del Río Cuenca, fuente de abastecimiento, y condiciones del sistema de captación y conducción. La planta no siempre opera con el mismo caudal.

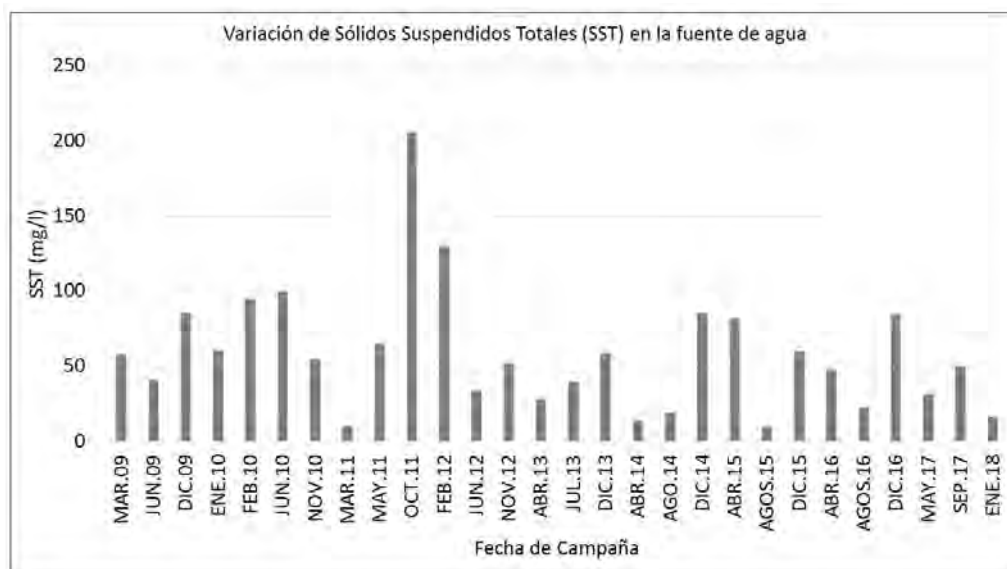


Figura 4.3: Variaciones de SST en la fuente de abastecimiento.

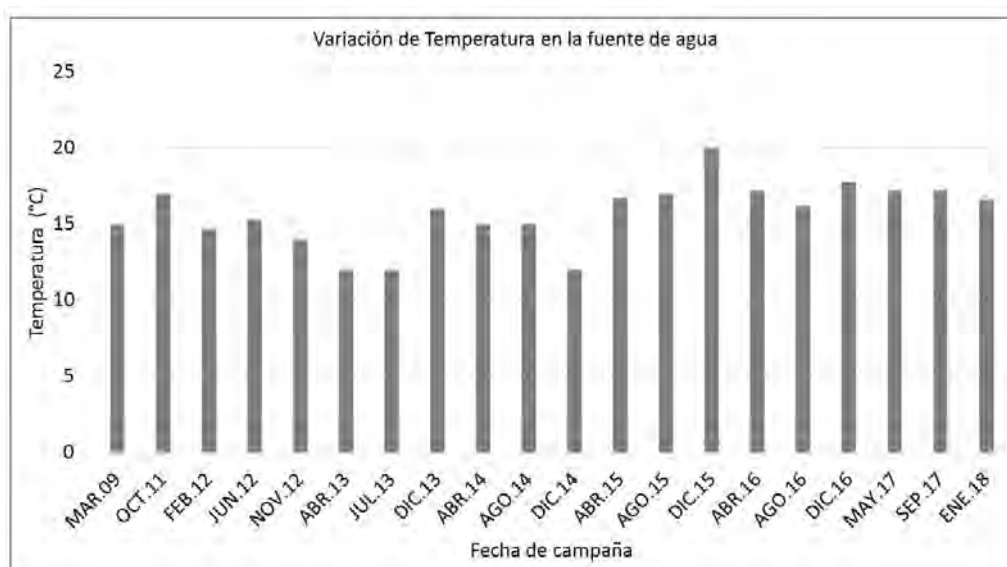


Figura 4.4: Variaciones de temperatura en la fuente de abastecimiento.



Figura 4.5: Variaciones de PH en la fuente de abastecimiento.

- Tipo de planta. Según clasificación CEPIS
 - La planta es mixta: de floculadores y filtros convencionales con decantadores de placas inclinadas (tecnología apropiada).
 - El diseño de la captación y conducción fue realizado en el año 1999. El año de diseño de la planta no fue proporcionado con exactitud, pues no se tiene el estudio de diseño. El personal menciona 1985 como probabilidad de construcción.
- Descripción
 - Medidor de caudal: No existe.
 - Mezcla rápido:
Tipo: Hidráulico, vertedero rectangular.
Punto de aplicación: Resalto Hidráulico.
 - Floculadores:
Tipo: Hidráulico de pantallas de flujo horizontal
Número de unidades: 1
Numero de cámaras: 3
Profundidad útil: 0,16m
Área Cámara 1: 17,37m²
Área Cámara 2: 58,41m²
Área Cámara 3: 56,77m²
 - Decantadores
Tipo: Convencional de alta tasa, placas inclinadas
Número de unidades: 1
Área de cada unidad: 10,96m²
Tasa superficial del proyecto: No proporcionada
Tasa superficial de operación: No proporcionada
Tasa superficial en base a la capacidad: 235,0m³/m².d
 - Filtros
Tipo: Filtro rápido a presión de flujo vertical. Tasa declinante
Número de unidades: 2
Tipo de lecho filtrante: Mixto (más de un material granular)
Área de cada filtro: 16,64m²

- Dosificación
- Coagulación
- Coagulante: Sulfato de aluminio
- Tipo de dosificador: Vía húmeda. La solución es preparada en dos tanques de nivel constante con orificio graduable conectados a tuberías que llevan la solución hacia un dosificador, un tubo con agujeros.
- Número: 1
- Cloración
- Tipo de dosificador: Alimentación por solución.
- Número: 1

■ Análisis de la información

- Capacidad potencial de producción de la planta
- Todos los procesos unitarios de la planta tienen capacidad para tratar un caudal mayor al caudal pico de la planta, 15 l/s, como permite apreciar la Figura 4.2.
- Evaluación de la producción
- Las unidades de tratamiento de separación de sólidos logran una calidad de agua cada vez mejor conforme el agua pasa por los procesos, esto según el ensayo realizado el 14 de febrero de 2019 como se puede apreciar en la Figura 4.6. Se cumple con la turbiedad requerida (10 UNT) para el sistema de enfriamiento la C.T.D. al final del proceso de filtración.

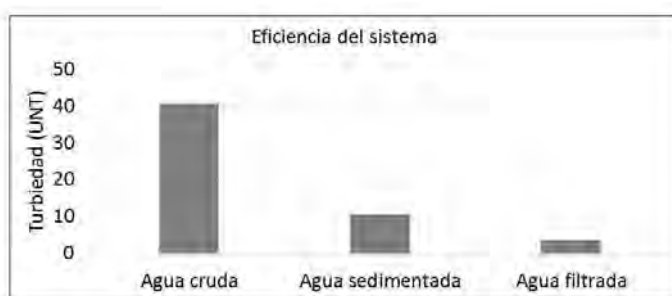


Figura 4.6: Eficiencia del sistema de tratamiento.

■ Diagnóstico Preliminar.

La capacidad potencial de tratamiento de la planta es la adecuada.

La calidad del agua tratada según los registros de Tesquimsa [25] es generalmente la correcta según esta entidad. Existe baja frecuencia con que realizan recomendaciones para mejorar la calidad del agua, debido a que generalmente cumple con parámetros que ellos recomiendan.

Los procesos son eficientes en remoción de turbiedad.

La calidad del agua es controlada por Tesquimsa que da además pautas para la operación según los resultados de ensayos que realizan del agua.

El ingreso de agua depende del caudal del Río Cuenca, fuente de abastecimiento, y condiciones del sistema de captación y conducción, los cuales no siempre presentan condiciones para operar con el caudal de diseño 15 l/s, en especial se produce una dependencia directa del caudal del río Cuenca. Sin embargo, según el operador no se han producido problemas de desabastecimiento que impliquen parar la generación de energía.

A pesar de no contar con las pruebas para control, el análisis del proceso de tratamiento da como resultado un funcionamiento general correcto, lo que implica una operación y mantenimiento eficiente.



Límites de evaluación de los parámetros de calidad del agua usados por Tesquimsa en algunos casos difieren de los establecidos por el instructivo del fabricante de la maquinaria de NIGATTA, poniendo en riesgo los sistemas de la CTD.

La operación de la planta se la realiza de manera empírica generalmente en base a criterio del operador.

Evaluación de la PTA de la CTD: Análisis de flujo y factores que determinan los periodos de retención

Las unidades de tratamiento pueden tener deficiencias hidráulicas que afectan sus periodos de retención. Estas situaciones tienen su origen en el diseño o en prácticas inadecuadas de operación [4]. En esta evaluación se determinan las características de flujo que se producen en las unidades de floculación y sedimentación, pues CEPIS no considera otras unidades para la aplicación práctica en este capítulo. Se utiliza dos metodologías: el modelo simplificado de la teoría de Wolf y Resnick y el análisis de la curva de tendencia de concentración del trazador.

5.1. Modelos de flujo

Los tipos de flujos ideales de una unidad de tratamiento son los mostrados en la Figura 5.1 y descritos a continuación:

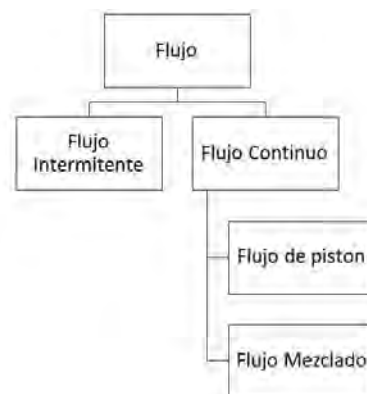


Figura 5.1: Tipos de flujos ideales de una unidad de tratamiento de agua. [4].

- **Flujo estable ideal** Cuando una partícula cualquiera del fluido tarda en entrar y salir de la unidad, el mismo tiempo que todo el resto de partículas.

- **Flujo intermitente.** El líquido permanece en la unidad llena mientras se realiza el tratamiento, luego esta se vacía y se repite el ciclo.
- **Flujo continuo.** Puede ser de Pistón o mezclado.
- **Flujo de pistón.** Las partículas del fluido son descargadas de la unidad en la misma secuencia en que fueron introducidas. Todos los elementos permanecen el mismo tiempo en el sistema. No hay ninguna mezcla entre el flujo que entra y el que está en la unidad.
- **Flujo mezclado.** Un reactor con flujo mezclado es aquel en el que todo elemento que ingresa al reactor se dispersa inmediatamente dentro de él. Se cumple que la concentración de una sustancia a la salida de la unidad es igual a la existente en todo el reactor.
- **Flujo no ideal** Un flujo continuo no ideal corresponde a cualquier grado intermedio entre flujo de pistón y mezcla con posibles alteraciones como zonas muertas, cortocircuitos, recirculación. Este flujo es habitual en las unidades de tratamiento.

5.2. Influencia del tiempo de retención

Para lograr la transferencia o las reacciones necesarias en un reactor se establece un tiempo de retención. El tiempo de retención teórico, t_o , es el cociente mostrado en la ecuación 5.1.

$$t_o = \frac{V}{Q} \quad (5.1)$$

Donde:

V : Volumen de la unidad

Q : Caudal

Con el conocimiento del tipo de flujo y su tiempo de retención real se conoce la forma como ha quedado sometida la masa líquida a un determinado tratamiento. En el caso de los floculadores las eficiencias teóricas que se obtienen como resultado de la prueba de jarras pueden ser mayores que las producidas en la unidad de floculación de la planta con condiciones similares, además puede existir una menor influencia de la variación del tiempo de retención. Esto debido a variaciones en el tiempo de retención, sean estas, en menos (cortocircuitos hidráulicos) o en más (espacios muertos) que producen disminuciones en la eficiencia. En la Figura 5.2 se presenta el periodo de retención teórico (prueba de jarras) y el obtenido en con el floculador de la planta para condiciones similares de tiempo de retención, para el caso de la planta La Atarjea en Lima, se evidencia la diferencia que existe en la eficiencia de remoción de turbiedad entre proyecciones teóricas y mediciones en la planta.

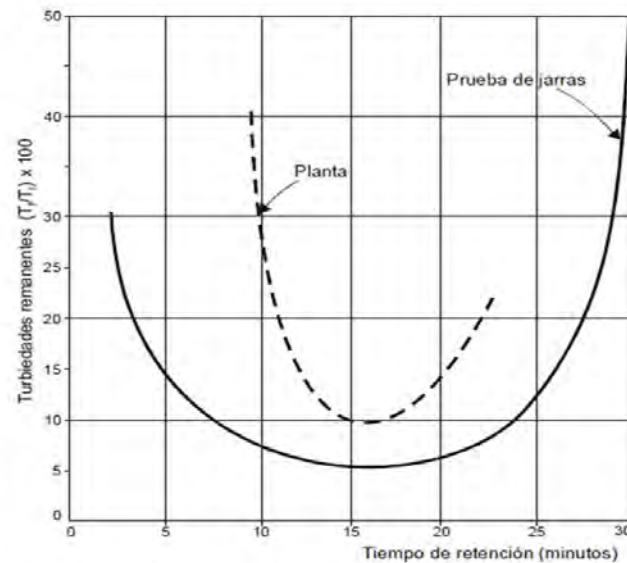


Figura 5.2: Influencia del periodo de retención en la eficiencia teórica (prueba de jarras) y la “real” (floculador de la planta). Planta La Atarjea Lima, Perú [4].

En las unidades de sedimentación se pueden producir variaciones del tiempo esperado de retención que reducen la eficiencia remocional de la unidad.

5.3. Uso de trazadores para determinar el tiempo de retención y características hidráulicas de un reactor

Una sustancia trazadora es aplicada a la entrada de la unidad y simultáneamente registrada su concentración a la salida, este ensayo permite visualizar el funcionamiento de una unidad desde el punto de vista hidráulico.

5.4. Análisis de las características de un reactor

Se utilizan dos métodos de evaluación de las características hidráulicas de un reactor:

1. Modelo matemático
2. Análisis de la curva de tendencia

5.4.1. Modelo matemático

Se determina la proporción que existe de flujo de pistón y flujo de mezclado en un reactor.

La determinación de la proporción de flujo de pistón mide la fracción del volumen de agua que pasa por el reactor y que ha permanecido durante todo el tiempo de retención sometida al tratamiento deseado. Cuanto más flujo mezclado haya en el reactor se puede asumir que una fracción mayor de agua ha pasado por un tratamiento ya sea más corto o más largo del deseado.

Por ello, es óptimo un flujo lo más cercano al de pistón.

El modelo matemático usado es de los autores Wolf y Resnick, que se expone a continuación.

5.4.1.1. Modelo simplificado de la teoría de Wolf y Resnick

Este método determina el porcentaje de flujo de pistón y flujo mezclado que se da en un reactor, además, el porcentaje de espacios muertos. Utiliza la fracción de la totalidad del trazador, $F(t)$, que sale del reactor en un ensayo de trazadores dada por la función 5.2.

$$F(t) = 1 - \frac{C}{C_o} \quad (5.2)$$

Donde:

C : Concentración que permanece en el reactor en el tiempo t .

C_o : Concentración en el reactor en el momento que es aplicado el trazador.

La determinación de las características del flujo se realiza con parámetros de la tangente a la gráfica de la relación entre la fracción de la totalidad del trazador aplicado que permanece en el reactor, $1 - F(t)$, ordenadas en escala logarítmica, y de t/t_o , abscisas en escala lineal, donde t es el tiempo transcurrido desde que se aplica el trazador y t_o es el tiempo teórico de retención en la unidad (ver Figura 5.3). Se tiene que:

- El porcentaje de flujo de pistón P en la unidad es dado en la ecuación 5.3

$$P = \frac{\theta \tan \alpha}{\log e + \theta \tan \alpha} \quad (5.3)$$

Donde:

$$\theta = \frac{t_1}{t_o}$$
$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_1}{t_o} - \frac{t_2}{t_o}}$$

Los valores $\frac{t_1}{t_o}$ y $\frac{t_2}{t_o}$ corresponden a los puntos de corte de la tangente de la gráfica de la función de la totalidad del trazador que permanece en el reactor con $1 - F(t) = 1$ y $1 - F(t) = 0,1$ respectivamente [32].

- El porcentaje de flujo de mezcla M en la unidad es dado en la Eq. 5.4.

$$M = 1 - P \quad (5.4)$$

- El porcentaje de espacios muertos m en la unidad es dado por Eq. 5.5

$$m = 1 - \frac{\theta}{P} \quad (5.5)$$

La gráfica de la cantidad del trazador que permanece en el reactor $1 - F(t)$ en función de t/t_o , se muestra en la Figura 5.3, junto con los parámetros de la curva necesarios para calcular los valores de caracterización del flujo.

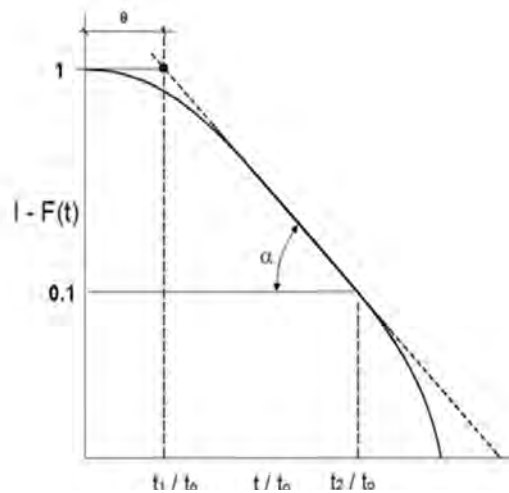


Figura 5.3: Curvas de cantidad de trazador que permanece en el reactor $1 - f(t)$ en función de t/t_0 .

5.4.1.2. Análisis de la curva de tendencia de concentración del trazador

Mediante el análisis de la curva de concentración del trazador se establece la eficiencia hidráulica de un reactor, así también, se relacionan parámetros de la curva con condiciones de flujo.

Al aplicar un trazador los valores de concentración registrados a la salida del reactor aumentan con el tiempo hasta un máximo y luego disminuyen. Se origina la curva de tendencia de concentración del trazador, tal como se muestra en la Figura 5.4.

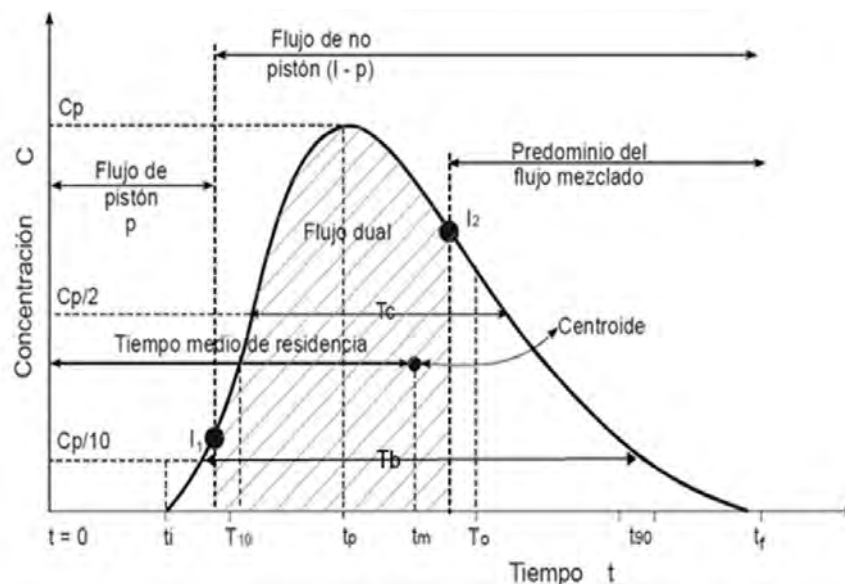


Figura 5.4: Concentración de trazador en el efluente de un reactor.

Los siguientes parámetros de la curva se utilizan para analizar el flujo:

- t_i : Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente
- t_{10} : Tiempo correspondiente al paso del 10% de la cantidad total del trazador
- t_p : Tiempo modal, correspondiente a la presencia de la máxima concentración del trazador

t_m : Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50 % de la cantidad del trazador
 t_o : Tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención
 t_{90} : Tiempo correspondiente al paso del 90 % de la cantidad total del trazador
 t_f : Tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al reactor
 C_o : Concentración inicial
 C_P : Concentración máxima a la salida menos la concentración inicial

Además:

t_c y t_b corresponden a los valores indicados en la Figura 5.4 donde se muestra la curva de concentración del trazador junto con los parámetros de análisis de flujo.

Los criterios de para la determinación de características del flujo se describen a continuación:

- $\frac{t_i}{t_o}$ Si es menor a 0,3, puede existir un cortocircuito hidráulico, pues existiría un paso directo del trazador entre la entrada y la salida. Es igual a 1 para flujo de pistón y 0 para flujo mezclado.
- $\frac{t_m}{t_o}$ Si es menor a 1 existen cortocircuitos hidráulicos. Si es mayor hay errores experimentales o existen zonas donde el trazador ha quedado retenido por un cierto tiempo (espacios muertos).
- $\frac{t_p}{t_o}$ Indica la relación entre flujo de pistón y flujo de mezclado. Cuando es 1 existe únicamente flujo de pistón y cuando es 0 solo mezclado. Así cuando se aproxima a 1 hay predominio de flujo de pistón y cuando se aproxima a 0 de mezclado.
- $\frac{t_c}{t_o}$ Se relaciona con la difusión debida a corrientes de inercia, es decir turbulencia. Es igual a $\frac{\delta t_0}{t_o}$ (razón del tiempo de inyección del trazador) para flujo estable ideal y 0,7 para flujo mezclado.
- $\frac{t_b}{t_o}$ Se relaciona con las características de inercia turbulentas y de recirculación grande. Es igual a $\frac{\delta t_0}{t_o}$ para flujo estable ideal y 2,3 para flujo mezclado ideal.
- $\frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$ Esta relación se simboliza con e , es función de la recirculación. Es igual a 0 para flujo de pistón y mayor de 2,3 para flujo mezclado ideal.
- Índice de Morrill

Al graficar la cantidad del trazador que pasa $F(t)$ expresado en porcentajes, en función del tiempo t , en escala logarítmica se obtiene aproximadamente una línea recta similar a la que se muestra en la Figura 5.5.

El segmento entre 10 % y 90 % es el más regular, por lo que, se toma la relación entre estos como índice de dispersión de Morrill (IDM) dado en la Eq. 5.6

$$IDM = \frac{\text{Tiempo en que pasa el 90 \% de trazador}}{\text{Tiempo en que pasa el 10 \% de trazador}} \quad (5.6)$$

Para flujo de pistón la curva sería una línea horizontal, entonces, el índice sería 1, a medida que hay más flujo mezclado aumenta el ángulo que la curva hace con la horizontal. La eficiencia volumétrica de la unidad se calcula de acuerdo a la Eq. 5.7

$$\text{Eficiencia volumetrica} = \frac{1}{\text{Indice de dispersion de Morrill}} * 100 \% \quad (5.7)$$

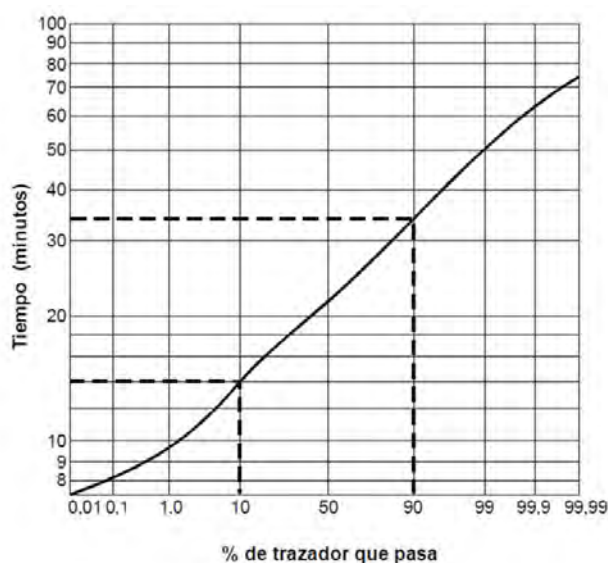


Figura 5.5: Curva para el Índice de Morrill.

5.4.2. Tipos de flujo en el periodo que el trazador pasa por el reactor

La gráfica de tendencia de trazador indica el comportamiento hidráulico del reactor. Flujo de pistón puro ocurre hasta que aparece el trazador, este tiempo se puede tomar en el punto de inflexión I_1 , cuando la curva cambia de cóncava a convexa. Entre dicho punto y el punto de inflexión, I_2 , en la parte descendente de la curva, el flujo es *dual* pistón y no pistón. Mientras que a partir de I_2 , el flujo es predominantemente mezclado.

5.5. Ensayo con trazadores

Objetivo

Determinar los tiempos de retención reales y los factores en relación: Tipo de flujo, espacios muertos y cortocircuitos hidráulicos en unidades de tratamiento. Consiste en agregar una sustancia trazadora a la entrada de un reactor con concentración conocida y determinar a la salida la forma como dicha concentración se distribuye en el tiempo.

Sustancia trazadora

Para este trabajo se usa cloruro de sodio, sal de mesa, este trazador es de fácil obtención y bajo costo con relación a otros. No reacciona con los compuestos que hay en el agua. También la determinación es fácil y rápida a través de la medida de la conductividad, directamente proporcional a la concentración de cloruro de sodio.

5.5.0.1. Procedimiento

La concentración del trazador en la unidad debe estar entre 30 y 50 mg/l para el caso del ion cloruro. La cantidad de sal, P, en Kg que se necesita añadir se determinó con la ecuación 5.8 de acuerdo a CEPIS.

$$P = \frac{V * K * C_o}{I * 10^3} \quad (5.8)$$

donde:

P : peso de la sal por añadir al reactor en Kg

V : Volumen útil del reactor en m^3

K : Constante de corrección

C_o : Concentración en mg/l

I : Grado de pureza del trazador como fracción de la unidad

Para el cloruro de sodio K se calcula de acuerdo a la Eq. 5.9.

$$K = \frac{Peso_de_NaCl}{Peso_Cl} \quad (5.9)$$

5.6. Resultados

5.6.1. Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central Termoeléctrica El Descanso

Determinación de las características hidráulicas del floculador y sedimentador

Se determina y analiza las características de cada una de las 3 cámara del floculador, el floculador y el sedimentador mediante ensayos de trazadores.

Durante el ensayo realizado para el análisis del floculador existió un apagón en el sistema de bombeo de agua hacia la planta. Para determinar la validez o no del ensayo se comparó la suma de los tiempos modales de las cámaras con dicho tiempo del floculador, su diferencia es 0,5 minutos, se consideran como tiempos similares, lo que significaría que el apagón no afectó considerablemente el flujo para desechar el ensayo.

Existen variaciones de conductividad en el agua de entrada a los reactores durante los ensayos, los errores debidos a esta causa se desprecian.

5.6.1.1. Tiempo de retención teórico

El tiempo de retención teórico de las unidades se calculó con la Ecuación 5.1. Los tiempos teóricos de retención obtenidos de las unidades y los datos considerados para el cálculo, caudal y volumen, se muestran en la Tabla 5.1 ¹

Tabla 5.1: Tiempos teóricos de retención de unidades de tratamiento.

Unidad	Tiempo teórico de retención, t_o		
	Caudal Q [l/s]	Volumen V [m^3]	t_o [minutos]
Cámara 1 del floculador	10.6	2.433	3.82
Cámara 2 del floculador	10.6	8.179	12.86
Cámara 3 del floculador	10.6	7.948	12.50
Floculador	10.6	18.559	29.18
Sedimentador	9.5	48.938	86.31

¹El caudal del sedimentador no fue registrado en la misma fecha del ensayo, corresponde a una medición realizada en condiciones similares, según el operador, en una fecha posterior.

5.6.2. Ensayo con trazadores

El trazador que se utilizó fue cloruro de sodio contenido en sal de mesa. La concentración de cloruros que se aplicó en las unidades fue 45mg/l , según el rango dado de 30mg/l a 50mg/l por CEPIS [1]. La cantidad que se dosificó de sal P en cada ensayo se obtuvo con la Ecuación 5.8. La constante de corrección K se obtuvo con la Ecuación 5.9, mientras el grado de pureza se consideró un $I = 90\%$, pues CEPIS utiliza este valor para la sal. Entonces:

Cálculo de K :

$$K = \frac{\text{Peso_de_NaCl}}{\text{Peso_Cl}} = \frac{58,5}{35,5} = 1,65$$

La cantidad de sal calculada para aplicar en las unidades se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Cantidad de sal para ensayos de trazadores en las unidades.

Cantidad de sal, P	
Unidad	P [Kg]
Floculador cámara 1	0.2
Floculador cámara 2	0.7
Floculador cámara 3	0.7
Floculador	1.5
Sedimentador	4.0

Una vez agregado el trazador, se registraron las mediciones de la conductividad C a la salida de las unidades, en tiempos t , con intervalos de 5 minutos hasta medio minuto. Los datos registrados se muestran las Tablas 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7.

5.6.2.1. Análisis por el método de Wolf y Resnick

Se calculó los valores para la gráfica de la función de la cantidad de trazador que permanece en el reactor $1 - F(t)$ en relación de t/t_o en base a los datos de las mediciones de conductividad en función del tiempo obtenidos en los ensayos de trazadores, en la Tabla 5.3 ² se muestran las ecuaciones utilizadas para los cálculos, mientras en las tablas Tablas 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7 se muestran los valores obtenidos en los casos de análisis. La gráfica de la cámara 1 del floculador se muestra en la figura 5.6, de la cámara 2 en la Figura 5.7, de la cámara 3 en la Figura 5.8 del floculador en la Figura 5.9 y del sedimentador en la Figura 5.10.

Tabla 5.3: Cálculos para elaboración de la gráfica $1 - F(t)$ en función de t/t_o del método de Wolf y Resnick.

Columna	Forma de cálculo
Muestra	i (Dato)
T	t_i (Dato)
t/t_o	t_i/t_o
C	C_i (Dato)
$C - C_o$	$C_i - C_o$
$\sum C - C_o$	$\sum C_i - C_o$
$F(t)$	$\frac{\sum_{i=1}^n C_i - C_o}{\sum_{i=1}^n C_i - C_o}$
$1 - F(t)$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n C_i - C_o}{\sum_{i=1}^n C_i - C_o}$

²Cálculos para la elaboración de las las Tablas 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7



Tabla 5.4: Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Cámara 1 del floculador.

Mues- tra	T [minutos]	t/t_o	C [$\mu S/cm$]	$C - C_o$	$\sum C - C_o$	$F(t)$	$1 - F(t)$
0	0.0	0.00	178.9	0.0	0	0.000	1.000
1	0.5	0.13	178.8	-0.1	-0.1	0.000	1.000
2	1.0	0.26	178.6	-0.3	-0.4	0.000	1.000
3	1.5	0.39	181.0	2.1	1.7	0.002	0.998
4	2.0	0.52	269.7	90.8	92.5	0.083	0.917
5	2.5	0.65	443.7	264.8	357.3	0.319	0.681
6	3.0	0.78	506.0	327.1	684.4	0.611	0.389
7	3.5	0.92	383.2	204.3	888.7	0.794	0.206
8	4.0	1.05	314.6	135.7	1024.4	0.915	0.085
9	4.5	1.18	240.1	61.2	1085.6	0.969	0.031
10	5.0	1.31	202.4	23.5	1109.1	0.990	0.010
11	5.5	1.44	188.9	10.0	1119.1	0.999	0.001
12	6.0	1.57	181.0	2.1	1121.2	1.001	-0.001
13	6.5	1.70	179.7	0.8	1122	1.002	-0.002
14	7.0	1.83	178.4	-0.5	1121.5	1.002	-0.002
15	7.5	1.96	178.1	-0.8	1120.7	1.001	-0.001
16	8.0	2.09	178.0	-0.9	1119.8	1.000	0.000



Tabla 5.5: Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Cámara 2 del floculador.

Mues- tra	T [minutos]	t/t_0	C [$\mu S/cm$]	$C - C_0$	$\sum C - C_0$	$F(t)$	$1 - F(t)$
0	0.0	0.00	168.4	0.0	0.0	0.000	1.000
1	1.0	0.08	168.4	0.0	0.0	0.000	1.000
2	2.0	0.16	168.3	-0.1	-0.1	0.000	1.000
3	3.0	0.23	168.4	0.0	-0.1	0.000	1.000
4	4.0	0.31	168.5	0.1	0.0	0.000	1.000
5	5.0	0.39	168.6	0.2	0.2	0.000	1.000
6	6.0	0.47	168.9	0.5	0.7	0.000	1.000
7	7.0	0.54	170.9	2.5	3.2	0.001	0.999
8	7.5	0.58	176.4	8.0	11.2	0.003	0.997
9	8.0	0.62	193.5	25.1	36.3	0.009	0.991
10	8.5	0.66	221.2	52.8	89.1	0.021	0.979
11	9.0	0.70	271.9	103.5	192.6	0.046	0.954
12	9.5	0.74	342.5	174.1	366.7	0.088	0.912
13	10.0	0.78	406.5	238.1	604.8	0.145	0.855
14	10.5	0.82	469.4	301.0	905.8	0.217	0.783
15	11.0	0.86	546.0	377.6	1283.4	0.307	0.693
16	11.5	0.89	578.0	409.6	1693.0	0.406	0.594
17	12.0	0.93	591.0	422.6	2115.6	0.507	0.493
18	12.5	0.97	579.0	410.6	2526.2	0.605	0.395
19	13.0	1.01	548.0	379.6	2905.8	0.696	0.304
20	13.5	1.05	490.3	321.9	3227.7	0.773	0.227
21	14.0	1.09	447.8	279.4	3507.1	0.840	0.160
22	14.5	1.13	389.9	221.5	3728.6	0.893	0.107
23	15.0	1.17	339.7	171.3	3899.9	0.934	0.066
24	16.0	1.24	270.6	102.2	4002.1	0.959	0.041
25	17.0	1.32	222.5	54.1	4056.2	0.972	0.028
26	18.0	1.40	195.8	27.4	4083.6	0.978	0.022
27	19.0	1.48	185.4	17.0	4100.6	0.982	0.018
28	20.0	1.56	180.4	12.0	4112.6	0.985	0.015
29	21.0	1.63	179.0	10.6	4123.2	0.988	0.012
30	22.0	1.71	178.6	10.2	4133.4	0.990	0.010
31	23.0	1.79	178.5	10.1	4143.5	0.993	0.007
32	24.0	1.87	178.6	10.2	4153.7	0.995	0.005
33	25.0	1.94	178.8	10.4	4164.1	0.997	0.003
34	28.0	2.18	179.1	10.7	4174.8	1.000	0.000



Tabla 5.6: Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Cámara 3 del floculador.

Mues- tra	T [minutos]	t/t_o	C [$\mu S/cm$]	$C - C_o$	$\sum C - C_o$	$F(t)$	$1 - F(t)$
0	0.0	0.00	160.6	0.0	0.0	0.000	1.000
1	1.0	0.08	160.7	0.1	0.1	0.000	1.000
2	2.0	0.16	161.2	0.6	0.7	0.000	1.000
3	3.0	0.24	161.7	1.1	1.8	0.001	0.999
4	4.0	0.32	164.0	3.4	5.2	0.002	0.998
5	5.0	0.40	178.2	17.6	22.8	0.007	0.993
6	5.5	0.44	198.5	37.9	60.7	0.018	0.982
7	6.0	0.48	220.8	60.2	120.9	0.036	0.964
8	6.5	0.52	249.3	88.7	209.6	0.063	0.937
9	7.0	0.56	282.3	121.7	331.3	0.100	0.900
10	7.5	0.60	312.6	152.0	483.3	0.146	0.854
11	8.0	0.64	343.0	182.4	665.7	0.201	0.799
12	8.5	0.68	370.1	209.5	875.2	0.264	0.736
13	9.0	0.72	387.9	227.3	1102.5	0.333	0.667
14	9.5	0.76	400.1	239.5	1342.0	0.405	0.595
15	10.0	0.80	405.0	244.4	1586.4	0.479	0.521
16	10.5	0.84	404.3	243.7	1830.1	0.552	0.448
17	11.0	0.88	395.6	235.0	2065.1	0.623	0.377
18	11.5	0.92	387.7	227.1	2292.2	0.692	0.308
19	12.0	0.96	367.4	206.8	2499.0	0.754	0.246
20	12.5	1.00	345.9	185.3	2684.3	0.810	0.190
21	13.0	1.04	330.3	169.7	2854.0	0.861	0.139
22	14.0	1.12	290.3	129.7	2983.7	0.900	0.100
23	15.0	1.20	253.6	93.0	3076.7	0.929	0.071
24	16.0	1.28	226.6	66.0	3142.7	0.948	0.052
25	17.0	1.36	206.9	46.3	3189.0	0.962	0.038
26	18.0	1.44	190.8	30.2	3219.2	0.972	0.028
27	19.0	1.52	180.6	20.0	3239.2	0.978	0.022
28	20.0	1.60	174.4	13.8	3253.0	0.982	0.018
29	21.0	1.68	171.3	10.7	3263.7	0.985	0.015
30	22.0	1.76	169.1	8.5	3272.2	0.988	0.012
31	23.0	1.84	167.6	7.0	3279.2	0.990	0.010
32	24.0	1.92	166.8	6.2	3285.4	0.991	0.009
33	25.0	2.00	166.7	6.1	3291.5	0.993	0.007
34	27.0	2.16	166.1	5.5	3297.0	0.995	0.005
35	29.0	2.32	166.2	5.6	3302.6	0.997	0.003
36	31.0	2.48	166.0	5.4	3308.0	0.998	0.002
37	35.0	2.80	166.2	5.6	3313.6	1.000	0.000



Tabla 5.7: Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Floculador.

Mues- tra	T [minutos]	t/t_0	C [$\mu S/cm$]	$C - C_0$	$\sum C - C_0$	$F(t)$	$1 - F(t)$
0	0.0	0.00	177.2	0.0	0.0	0.000	1.000
1	5.0	0.06	176.8	-0.4	-0.4	0.000	1.000
2	10.0	0.12	176.6	-0.6	-1.0	0.000	1.000
3	13.0	0.15	176.6	-0.6	-1.6	0.000	1.000
4	16.0	0.19	177.4	0.2	-1.4	0.000	1.000
5	17.0	0.20	182.8	5.6	4.2	0.000	1.000
6	18.0	0.21	197.3	20.1	24.3	0.002	0.998
7	19.0	0.22	230.0	52.8	77.1	0.008	0.992
8	20.0	0.23	288.0	110.8	187.9	0.019	0.981
9	20.5	0.24	327.0	149.8	337.7	0.035	0.965
10	21.0	0.24	372.1	194.9	532.6	0.055	0.945
11	21.5	0.25	421.0	243.8	776.4	0.080	0.920
12	22.0	0.25	477.6	300.4	1076.8	0.111	0.889
13	22.5	0.26	521.0	343.8	1420.6	0.146	0.854
14	23.0	0.27	576.0	398.8	1819.4	0.187	0.813
15	23.5	0.27	628.0	450.8	2270.2	0.233	0.767
16	24.0	0.28	662.0	484.8	2755.0	0.283	0.717
17	24.5	0.28	691.0	513.8	3268.8	0.336	0.664
18	25.0	0.29	713.0	535.8	3804.6	0.391	0.609
19	25.5	0.30	723.0	545.8	4350.4	0.447	0.553
20	26.0	0.30	722.0	544.8	4895.2	0.503	0.497
21	26.5	0.31	712.0	534.8	5430.0	0.558	0.442
22	27.0	0.31	694.0	516.8	5946.8	0.611	0.389
23	27.5	0.32	670.0	492.8	6439.6	0.662	0.338
24	28.0	0.32	632.0	454.8	6894.4	0.709	0.291
25	28.5	0.33	601.0	423.8	7318.2	0.752	0.248
26	29.0	0.34	567.0	389.8	7708.0	0.792	0.208
27	29.5	0.34	517.0	339.8	8047.8	0.827	0.173
28	30.0	0.35	484.0	306.8	8354.6	0.859	0.141
29	30.5	0.35	443.0	265.8	8620.4	0.886	0.114
30	31.0	0.36	412.4	235.2	8855.6	0.910	0.090
31	31.5	0.36	379.0	201.8	9057.4	0.931	0.069
32	32.0	0.37	343.0	165.8	9223.2	0.948	0.052
33	32.5	0.38	324.0	146.8	9370.0	0.963	0.037
34	33.0	0.38	300.7	123.5	9493.5	0.976	0.024
35	34.0	0.39	263.2	86.0	9579.5	0.985	0.015
36	35.0	0.41	234.4	57.2	9636.7	0.991	0.009
37	36.0	0.42	213.6	36.4	9673.1	0.994	0.006
38	37.0	0.43	200.9	23.7	9696.8	0.997	0.003
39	38.0	0.44	191.4	14.2	9711.0	0.998	0.002
40	39.0	0.45	185.6	8.4	9719.4	0.999	0.001
41	40.0	0.46	181.9	4.7	9724.1	1.000	0.000
42	41.0	0.48	179.8	2.6	9726.7	1.000	0.000
43	42.0	0.49	177.7	0.5	9727.2	1.000	0.000
44	43.0	0.50	177.0	-0.2	9727.0	1.000	0.000

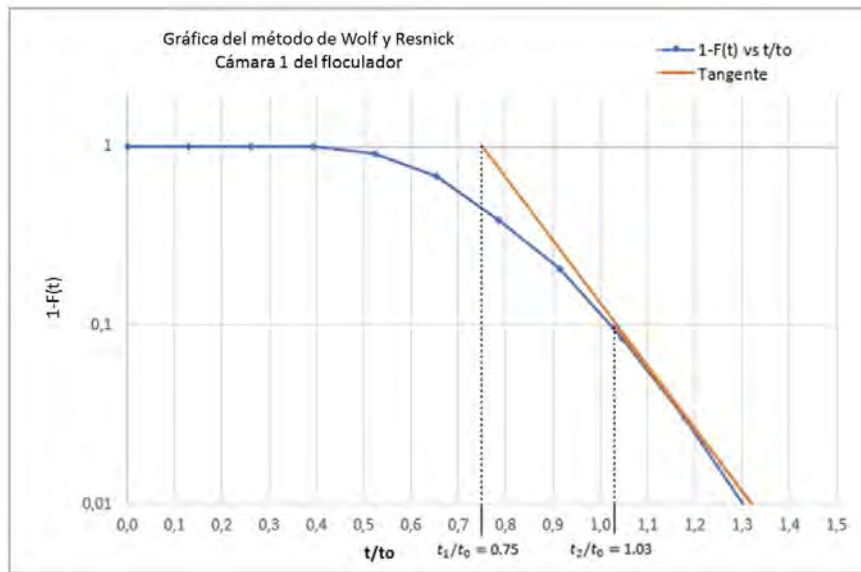


Figura 5.6: Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Cámara 1 del floculador.

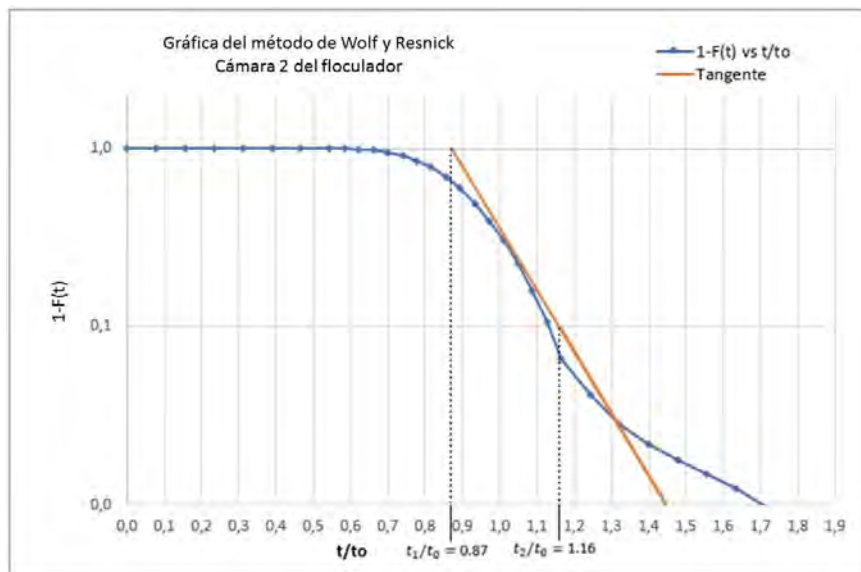


Figura 5.7: Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Cámara 2 del floculador.



Tabla 5.8: Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Sedimentador.

Mues- tra	T [minutos]	t/t_0	C [$\mu S/cm$]	$C - C_0$	$\sum C - C_0$	$F(t)$	$1 - F(t)$
0	0.0	0.00	165.5	0.0	0.0	0.000	1.000
1	5.0	0.06	158.0	-7.5	-7.5	-0.001	1.001
2	10.0	0.12	154.0	-11.5	-19.0	-0.002	1.002
3	15.0	0.17	152.0	-13.5	-32.5	-0.003	1.003
4	20.0	0.23	151.8	-13.7	-46.2	-0.004	1.004
5	25.0	0.29	151.7	-13.8	-60.0	-0.006	1.006
6	30.0	0.35	151.7	-13.8	-73.8	-0.007	1.007
7	35.0	0.41	152.3	-13.2	-87.0	-0.008	1.008
8	40.0	0.46	155.1	-10.4	-97.4	-0.009	1.009
9	42.0	0.49	160.0	-5.5	-102.9	-0.010	1.010
10	44.0	0.51	186.0	20.5	-82.4	-0.008	1.008
11	45.0	0.52	212.6	47.1	-35.3	-0.003	1.003
12	45.5	0.53	229.8	64.3	29.0	0.003	0.997
13	46.0	0.53	250.5	85.0	114.0	0.011	0.989
14	46.5	0.54	279.5	114.0	228.0	0.021	0.979
15	47.0	0.54	297.0	131.5	359.5	0.033	0.967
16	47.5	0.55	321.0	155.5	515.0	0.048	0.952
17	48.0	0.56	336.1	170.6	685.6	0.064	0.936
18	48.5	0.56	358.8	193.3	878.9	0.082	0.918
19	49.0	0.57	372.4	206.9	1085.8	0.101	0.899
20	49.5	0.57	383.5	218.0	1303.8	0.121	0.879
21	50.0	0.58	393.1	227.6	1531.4	0.143	0.857
22	50.5	0.59	405.3	239.8	1771.2	0.165	0.835
23	51.0	0.59	411.0	245.5	2016.7	0.188	0.812
24	51.5	0.60	416.3	250.8	2267.5	0.211	0.789
25	52.0	0.60	419.9	254.4	2521.9	0.235	0.765
26	52.5	0.61	424.0	258.5	2780.4	0.259	0.741
27	53.0	0.61	426.8	261.3	3041.7	0.283	0.717
28	53.5	0.62	430.8	265.3	3307.0	0.308	0.692
29	54.0	0.63	432.1	266.6	3573.6	0.333	0.667
30	54.5	0.63	430.4	264.9	3838.5	0.357	0.643
31	55.0	0.64	428.8	263.3	4101.8	0.382	0.618
32	56.0	0.65	429.3	263.8	4365.6	0.406	0.594
33	56.5	0.65	429.0	263.5	4629.1	0.431	0.569
34	57.0	0.66	429.0	263.5	4892.6	0.455	0.545
35	57.5	0.67	428.3	262.8	5155.4	0.480	0.520
36	58.5	0.68	426.9	261.4	5416.8	0.504	0.496
37	59.0	0.68	425.7	260.2	5677.0	0.528	0.472
38	59.5	0.69	421.9	256.4	5933.4	0.552	0.448
39	60.0	0.70	421.6	256.1	6189.5	0.576	0.424
40	60.5	0.70	420.1	254.6	6444.1	0.600	0.400
41	61.0	0.71	416.2	250.7	6694.8	0.623	0.377
42	61.5	0.71	414.1	248.6	6943.4	0.646	0.354
43	62.0	0.72	414.0	248.5	7191.9	0.669	0.331
44	63.0	0.73	409.1	243.6	7435.5	0.692	0.308
45	64.0	0.74	406.7	241.2	7676.7	0.714	0.286
46	65.0	0.75	403.6	238.1	7914.8	0.737	0.263
47	66.0	0.76	395.7	230.2	8145.0	0.758	0.242
48	67.0	0.78	390.6	225.1	8370.1	0.779	0.221

Tabla 5.9: Valores relativos al método de Wolf y Resnick. Sedimentador (continuacion).

Mues- tra	T [minutos]	t/t_o	C [$\mu S/cm$]	$C - C_o$	$\sum C - C_o$	$F(t)$	$1 - F(t)$
49	68.0	0.79	389.7	224.2	8594.3	0.800	0.200
50	69.0	0.80	385.0	219.5	8813.8	0.820	0.180
51	70.0	0.81	379.9	214.4	9028.2	0.840	0.160
52	71.0	0.82	378.1	212.6	9240.8	0.860	0.140
53	72.0	0.83	373.9	208.4	9449.2	0.879	0.121
54	73.0	0.85	369.9	204.4	9653.6	0.898	0.102
55	74.0	0.86	363.5	198.0	9851.6	0.917	0.083
56	75.0	0.87	358.7	193.2	10044.8	0.935	0.065
57	80.0	0.93	332.2	166.7	10211.5	0.950	0.050
58	85.0	0.98	306.5	141.0	10352.5	0.964	0.036
59	90.0	1.04	282.2	116.7	10469.2	0.974	0.026
60	95.0	1.10	260.0	94.5	10563.7	0.983	0.017
61	100.0	1.16	238.1	72.6	10636.3	0.990	0.010
62	105.0	1.22	219.4	53.9	10690.2	0.995	0.005
63	110.0	1.27	196.9	31.4	10721.6	0.998	0.002
64	115.0	1.33	186.3	20.8	10742.4	1.000	0.000
65	120.0	1.39	172.2	6.7	10749.1	1.000	0.000
66	125.0	1.45	166.7	1.2	10750.3	1.001	-0.001
67	130.0	1.51	159.5	-6.0	10744.3	1.000	0.000

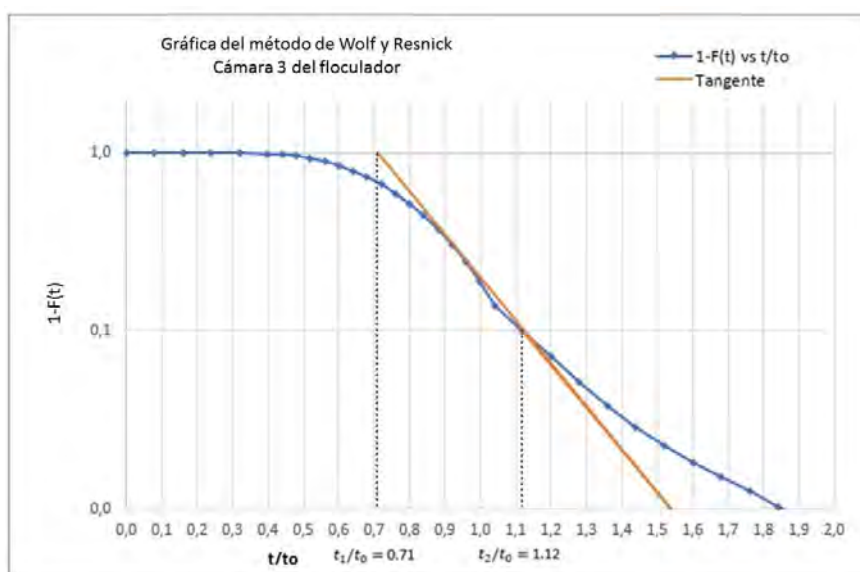


Figura 5.8: Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Cámara 3 del floculador.

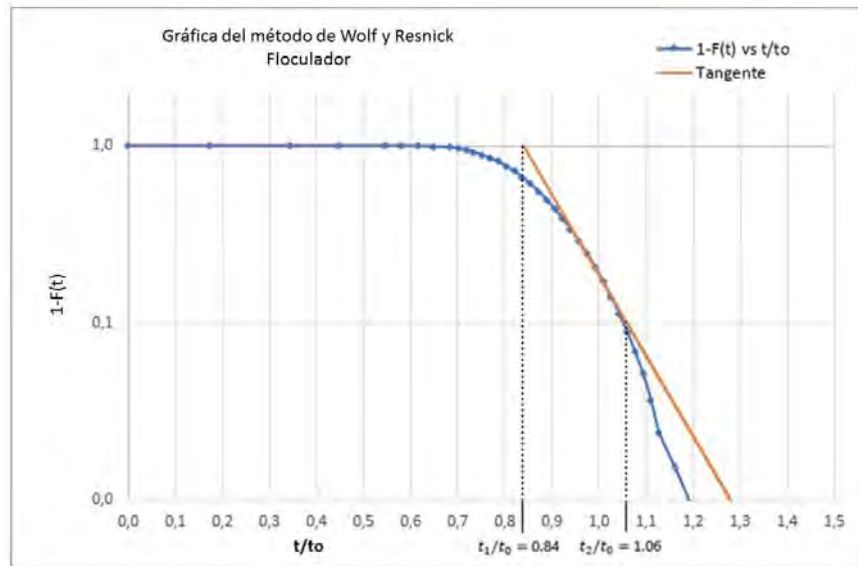


Figura 5.9: Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Floculador.

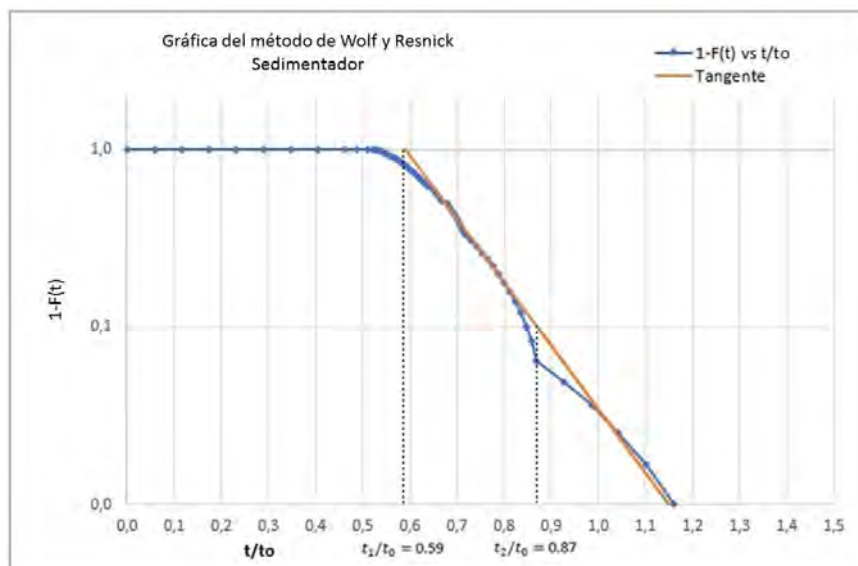


Figura 5.10: Gráfica del Método de Wolf y Resnick. Sedimentador.

De las tangentes a las gráficas del método trazadas (Figuras 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10) se obtuvo t_1/t_0 y t_2/t_0 .

Con estos parámetros se determinó:

$$\theta = t_1/t_0$$
$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_1}{t_0} - \frac{t_2}{t_0}}$$

Estos valores en los casos de análisis se muestran en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10: Parámetros de la gráfica $1 - F(t)$ en función de t/t_0 . Método de Wolf y Resnick.

Unidad	t_1/t_0	t_2/t_0	θ	$\tan \alpha$
Cámara 1 del floculador	0.75	1.03	0.75	3.57
Cámara 2 del floculador	0.87	1.16	0.87	3.45
Cámara 3 del floculador	0.71	1.12	0.71	2.44
Floculador	0.84	1.06	0.84	4.55
Sedimentador	0.59	0.87	0.59	3.57

Finalmente, con los valores obtenidos se determinó las características del flujo:

- Con la Ecuación 5.3 se calcula el porcentaje de flujo de pistón
- Con la Ecuación 5.4 se calcula el porcentaje de flujo mezclado
- Con la Ecuación 5.5 se calcula el porcentaje de espacios muertos

En las Tablas 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, y 5.15 se muestra las características de flujo para las unidades analizadas.

Tabla 5.11: Características de flujo de la cámara 1 del floculador.

Flujo de pistón P	Flujo Mezclado M	Espacios muertos m
86,0 %	14,0 %	12,8 %

Tabla 5.12: Características de flujo de la cámara 2 del floculador.

Flujo de pistón P	Flujo Mezclado M	Espacios muertos m
87,4 %	12,6 %	0,4 %

Tabla 5.13: Características de flujo de la cámara 3 del floculador.

Flujo de pistón P	Flujo Mezclado M	Espacios muertos m
79,9 %	20,1 %	11,2 %

Tabla 5.14: Características de flujo del floculador.

Flujo de pistón P	Flujo Mezclado M	Espacios muertos m
89,8 %	10,2 %	6,4 %

Tabla 5.15: Características de flujo del sedimentador.

Flujo de pistón P	Flujo Mezclado M	Espacios muertos m
82,9 %	17,1 %	28,8 %

Análisis de resultados

Cámara 1 del floculador

La cámara tiene un flujo mayoritario de pistón 86,0 %. Presencia de espacios muertos de 12,8 %.

Cámara 2 del floculador

La cámara tiene un flujo mayoritario de pistón 87,4 %. Casi no existen espacios muertos en la unidad. (porcentaje de 0,4 %).

Cámara 3 del floculador

La cámara tiene un 79,9 % de flujo de pistón. Presencia de espacios muertos de 11,2 %.

Floculador

El flujo mayoritario es el de pistón en un 89,8 %. Espacios muertos 6,4 % El predominio de flujo de pistón en todas las cámaras indica un funcionamiento hidráulico adecuado, pues este debe ser el flujo mayoritario en floculadores [4].

Por otro lado, CEPIS para un floculador sencillo de 45l/s considera que se debe dar un flujo de pistón prácticamente puro, lo que no se da. Las zonas muertas en la unidad producirían acumulación de lodos, que es incorrecto [5].

Los defectos en el flujo podrían deberse a la incorrecta colocación las pantallas de asbesto cemento, pues no tienen una geometría adecuada, su dimensión es menor a la recomendada por CEPIS en las curvas como se detalla en el capítulo de Evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada de este trabajo.

Sedimentador

El sedimentador tiene un flujo mayoritario de pistón 82,9 %, considerado un buen comportamiento hidráulico, CEPIS indica que un sedimentador debe tener por lo menos 60 % de flujo de pistón. Presencia de espacios muertos de 28,8 %, una cantidad considerable según CEPIS [4].

5.6.3. Análisis por el método de la curva de tendencia

Con los datos de conductividad C , en función del tiempo t , registrados en el ensayo de trazadores se realizó la curva de tendencia de la concentración del trazador (se da una relación directa entre concentración de cloruro y conductividad [4]). Las curvas obtenidas de las unidades se muestran en las Figuras 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15.

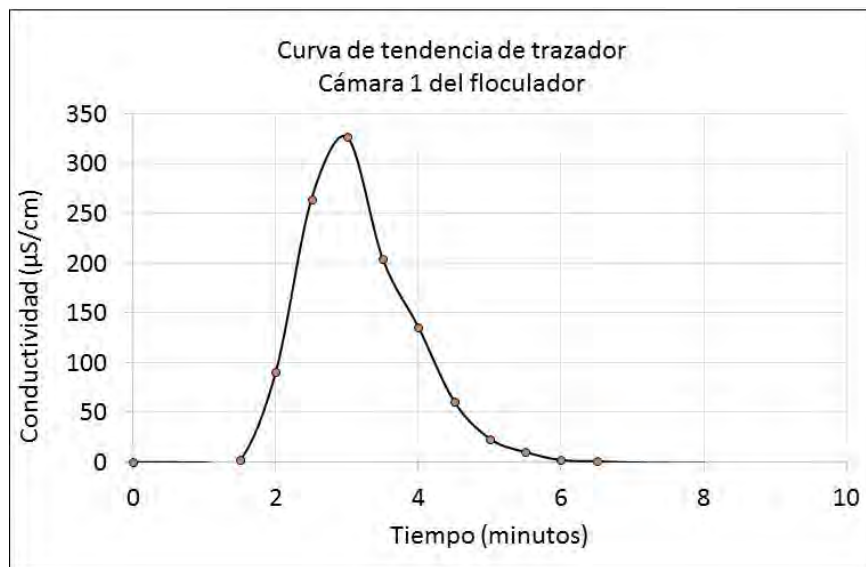


Figura 5.11: Curva de tendencia de la concentración del trazador en la cámara 1 del floculador.

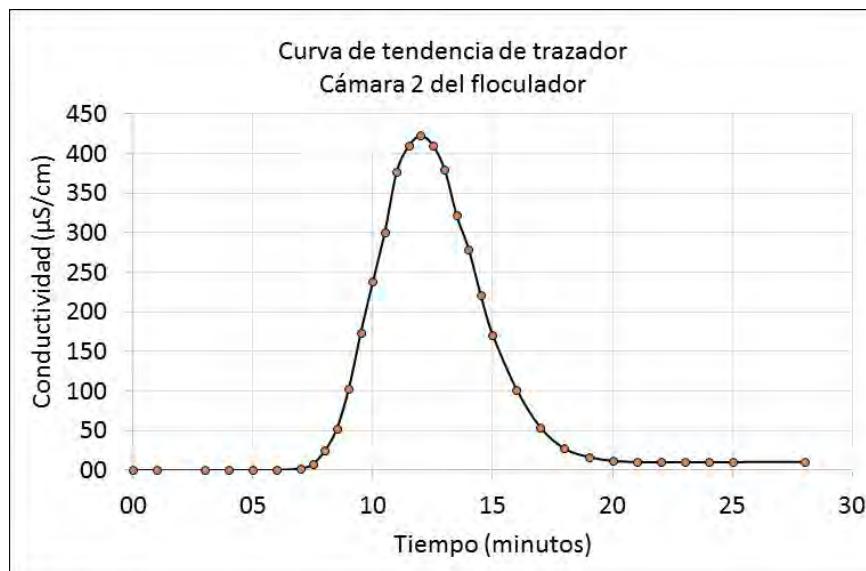


Figura 5.12: Curva de tendencia de la concentración del trazador en la cámara 2 del floculador.

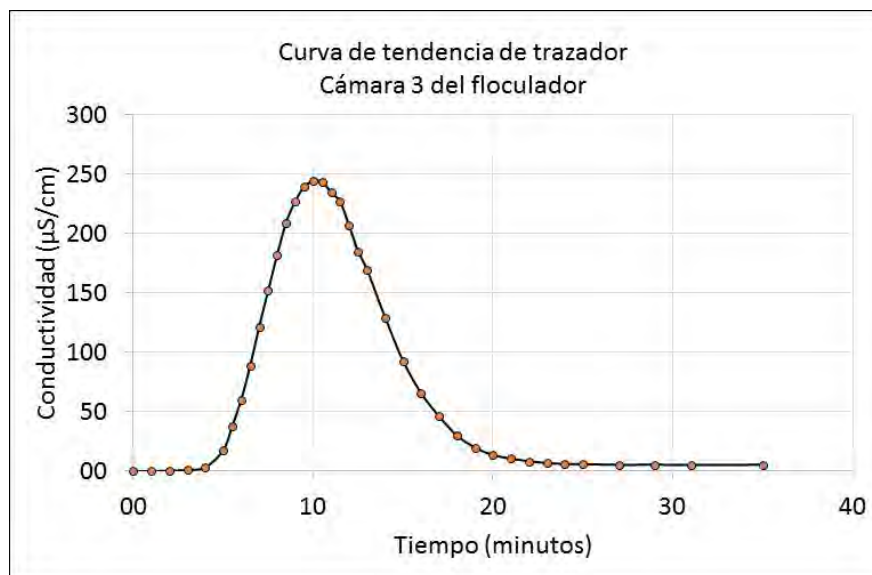


Figura 5.13: Curva de tendencia de la concentración del trazador en la cámara 3 del floculador.

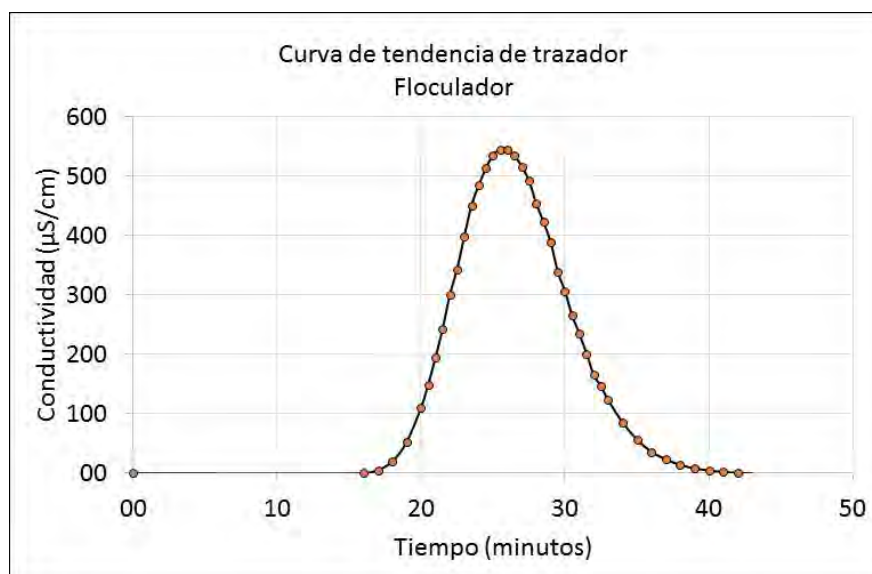


Figura 5.14: Curva de tendencia de la concentración del trazador en el floculador.

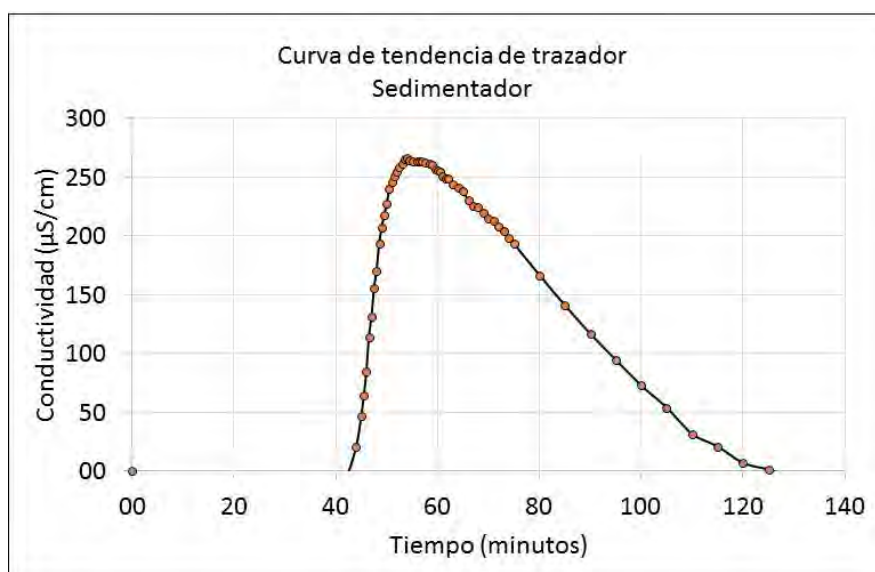


Figura 5.15: Curva de tendencia de la concentración del trazador en el sedimentador.

Los parámetros obtenidos en base a estas curvas que se utilizan para analizar el flujo se muestran en la Tabla 5.16 ³. Los criterios de evaluación del método y las consecuentes determinaciones hidráulicas se indican en las Tablas 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 y 5.21.

Tabla 5.16: Parámetros relacionados a la curva de tendencia de trazador en las unidades de la PTA de la CTD.

Unidad	t_i	t_{10}	t_P	t_m	t_o	t_{90}	t_f	C_o	C_P	t_c	t_b
Cámara 1 Floculador	1.5	2.0	3.0	3.0	3.82	4.0	5.5	178.9	327.1	2.0	3.5
Cámara 2 Floculador	7.0	9.5	12.0	12.0	12.86	14.5	21.0	168.4	422.6	4.5	8.5
Cámara 3 Floculador	4.0	7.0	10.0	10.0	12.5	14.0	23.0	160.6	244.4	7.0	14.0
Floculador	17.0	22.0	22.5	26.0	29.27	31.0	43.0	177.2	545.8	8.5	16.0
Sedimentador	35.0	49.0	54.0	58.5	86.31	73.0	130.0	165.5	266.6	38.0	64.5

³Los valores están dados en minutos

Tabla 5.17: Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Cámara 1 del floculador.

Criterio	Valor	Consecuencia
t_i/t_o	0,39	No existe paso directo de flujo entre la entrada y la salida. Predominio flujo mezclado
t_m/t_o	0,78	Existen cortocircuitos hidráulicos
t_p/t_o	0,78	Predominio de flujo de pistón
t_c/t_o	0,52	Predominio de flujo
t_b/t_o	0,92	Predominio de flujo estable ideal
$\frac{(t_f-t_p)-(t_p-t_i)}{t_o}$	0,33	Predominio de flujo de pistón con un valor sobre 85 %

Tabla 5.18: Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Cámara 2 del floculador.

Criterio	Valor	Consecuencia
t_i/t_o	0,54	No existe paso directo de flujo entre la entrada y la salida. Predominio flujo de pistón
t_m/t_o	0,93	Existen cortocircuitos hidráulicos
t_p/t_o	0,93	Predominio de flujo de pistón
t_c/t_o	0,35	Predominio de flujo estable ideal
t_b/t_o	0,66	Predominio de flujo estable ideal
$\frac{(t_f-t_p)-(t_p-t_i)}{t_o}$	0,33	Predominio de flujo de pistón con un valor sobre 85 %

Tabla 5.19: Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Cámara 3 del floculador.

Criterio	Valor	Consecuencia
t_i/t_o	0,32	No existe paso directo de flujo entre la entrada y la salida. Predominio flujo mezclado
t_m/t_o	0,80	Existen cortocircuitos hidráulicos
t_p/t_o	0,80	Predominio de flujo de pistón
t_c/t_o	0,56	Predominio de flujo mezclado
t_b/t_o	1,12	Predominio de flujo estable ideal
$\frac{(t_f-t_p)-(t_p-t_i)}{t_o}$	0,70	Predominio de flujo de pistón con un valor sobre 69 %

Tabla 5.20: Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Floculador.

Criterio	Valor	Consecuencia
t_i/t_o	0,58	No existe paso directo de flujo entre la entrada y la salida. Predominio flujo de pistón
t_m/t_o	0,89	Existen cortocircuitos hidráulicos
t_p/t_o	0,87	Predominio de flujo de pistón
t_c/t_o	0,29	Predominio de flujo de pistón
t_b/t_o	0,55	Predominio de flujo estable ideal
$\frac{(t_f-t_p)-(t_p-t_i)}{t_o}$	0,35	Predominio de flujo de pistón con un valor sobre 84 %

Tabla 5.21: Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Sedimentador.

Criterio	Valor	Consecuencia
t_i/t_o	0,41	No existe paso directo de flujo entre la entrada y la salida. Predominio flujo mezclado
t_m/t_o	0,68	Existen cortocircuitos hidráulicos
t_p/t_o	0,63	Predominio de flujo de pistón con un 63 %
t_c/t_o	0,44	Predominio de flujo mezclado
t_b/t_o	0,75	Predominio de flujo estable ideal
$\frac{(t_f-t_p)-(t_p-t_i)}{t_o}$	1,06	Predominio de flujo de pistón con un valor sobre 53 %

5.6.3.1. Análisis de resultados

Cámara 1 del floculador

La cámara tiene flujo mayoritario de pistón con un valor sobre 85 %, existen cortocircuitos hidráulicos en mayor cantidad que zonas muertas, originando que la mayor parte del flujo tenga un tiempo de retención menor al teórico, lo que reduciría la calidad de los flóculos producidos.

No todos los criterios de evaluación utilizados indican predominio de flujo de pistón.

En el caso del tiempo inicial de llegada del trazador es corto 0,41 del tiempo teórico, indicando cortocircuitos pronunciados. t_c indica que hay turbulencia mayor de la aceptable.

Cámara 2 del floculador

La unidad presenta flujo de pistón mayoritario con un valor sobre 85 %, todos los criterios indican un flujo estable.

La presencia de cortocircuitos es aceptable pues está dentro del rango de un flujo de pistón.

La unidad es adecuada hidráulicamente en base al análisis de la curva de tendencia pues todos los criterios indican predominio de un flujo estable y mayoritario de pistón.

Cámara 3 del floculador

La unidad presenta un flujo de pistón mayoritario, con un valor sobre 69 %. Existen cortocircuitos, el tiempo mediano es 0.8 del teórico. El tiempo de retención menor que se da es de 0.32 del teórico, esto provocaría menor calidad de los flocúlos producidos. Existe turbulencia indebida.

Floculador

El floculador como unidad tiene un buen comportamiento hidráulico tomando como criterio que todos los parámetros evaluados dan como resultado un flujo predominante de pistón y estable.

Existen cortocircuitos en la unidad ya que la mayor parte del flujo sale de la unidad antes del tiempo teórico de retención, la calidad de los flocúlos sería menor a la esperada en el diseño.

Sedimentador

El sedimentador tiene un mal comportamiento hidráulico, el flujo de pistón es de 53 % según el criterio que toma el parámetro e de la curva de tendencia para la evaluación, según CEPIS un sedimentador debe tener por lo menos 60 %.

Algunos criterios para determinar las características del flujo de CEPIS indican predominio de flujo estable ideal.

Presencia de cortocircuitos pues el tiempo mediano registrado es un 68 % del tiempo teórico de retención calculado, produciendo una eficiencia de sedimentación menor a la diseñada.

Presencia de cortocircuitos grandes, parte del flujo empieza a salir en 0,41 del tiempo ideal. Presencia de turbulencia inadecuada en la unidad.

Índice de Morrill

Se realiza la gráfica de la cantidad del trazador que pasa $F(t)$, expresado en porcentajes, en función del tiempo t , en escala logarítmica mediante los datos obtenidos en base a los ensayos de trazadores que se muestran en las Tablas 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9 según corresponde para cada unidad. Las gráficas de las unidades analizadas se muestran en las Figuras 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20.

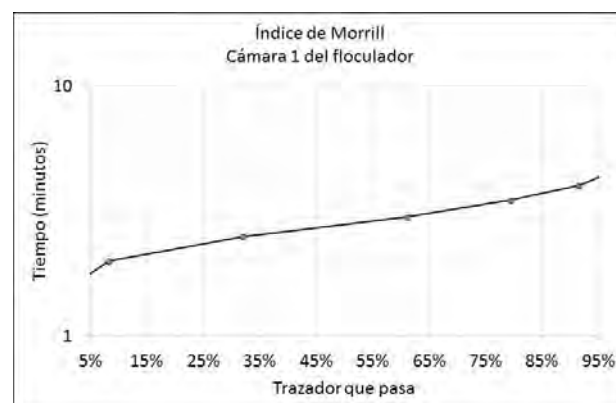


Figura 5.16: Curva para el índice de Morrill: Cámara 1 del floculador.

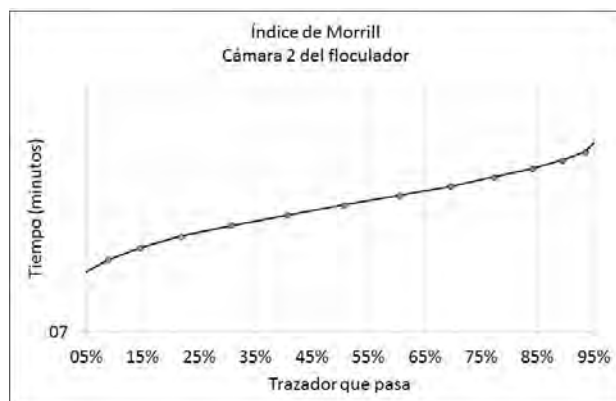


Figura 5.17: Curva para el índice de Morrill: Cámara 2 del floculador.

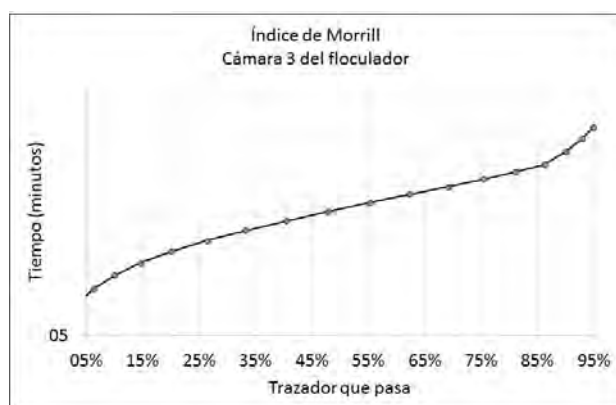


Figura 5.18: Curva para el índice de Morrill: Cámara 3 del floculador.



Figura 5.19: Curva para el índice de Morrill: Floculador.

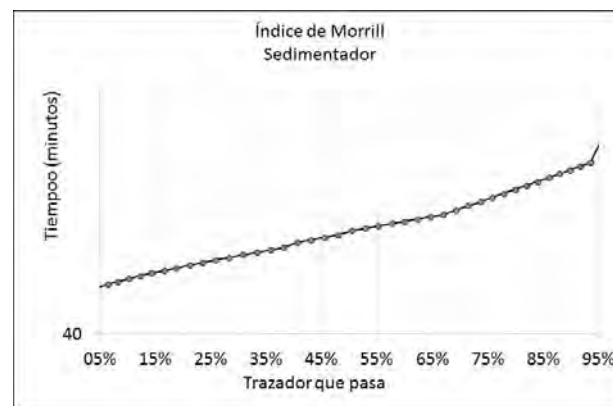


Figura 5.20: Curva para el índice de Morrill: Sedimentador.

Se calculó el índice de Morrill con la Ecuación 5.6 mediante los datos obtenidos de la gráfica del método de cada unidad. Los índices, así como los datos se muestran en la Tabla 5.22 para cada caso de análisis.

Tabla 5.22: Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Sedimentador.

	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3	Floculador	Sedimentador
I10	2	9.5	7	22	49
I90	4	14.5	14	30.5	73
Índice de Morrill	2	1.53	2	1.39	1.49
Eficiencia volumétrica	50 %	63 %	50 %	72 %	67 %

5.6.3.2. Análisis de resultados

Cámaras del floculador

El índice de Morrill indica la presencia de flujo dual, mientras la eficiencia volumétrica es 50 %, 63 % y 50 % de la cámara 1, 2 y 3 respectivamente.

Floculador

El índice de Morrill indica la presencia de flujo dual, mientras la eficiencia volumétrica es 72 %, la eficiencia es mayor que de las cámaras, eso quiere decir que en las interconexiones existe un flujo de pistón mayoritario.

Sedimentador

El índice de Morrill indica la presencia de flujo dual, mientras la eficiencia volumétrica de la unidad es del 67 %.

Tipos de flujo en el periodo que el trazador pasa por el reactor

En la Tabla 5.23 se muestran los porcentajes de flujo de pistón puro, flujo predominante mezclado y flujo dual que se presentan en las unidades.

Tabla 5.23: Resultados del análisis de la curva de tendencia del trazador. Sedimentador.

Unidades	Puntos limitantes		Porcentaje de flujo		
	I1	I2	Pistón puro	Dual	Predominante-mente mezclado
Cámara 1	(2;90.8)	(4.5;61.2)	8,3 %	88,7 %	3,1 %
Cámara 2	(7.5;8.0)	(18.0;27.4)	0,3 %	97,5 %	2,2 %
Cámara 3	(5.0;17.6)	(19.0;20.0)	0,7 %	97,1 %	2,2 %
Floculador	(18.0;20.1)	(36.0;36.4)	0,2 %	99,2 %	0,6 %
Sedimentador	(44.0;20.5)	(110.0;31.4)	0,0 %	99,8 %	0,2 %

5.6.3.3. Análisis de resultados

Cámara 1 del floculador

Un 8 % es flujo de pistón puro. Mientras el 3,1 % del flujo es predominante mezclado.

Cámara 2 del floculador

Los porcentajes de flujos predominantes de pistón y mezclado son bajos 0,3 % y 2,2 %.

Cámara 3 del floculador

Los porcentajes de flujo de pistón puro y predominante mezclado son bajos, el 97,1 % tiene un flujo dual.

Floculador

Los porcentajes de flujos puro de pistón y predominante mezclado son bajos, menores al 1 %. En el porcentaje de flujo de pistón puro del floculador no se daría una adecuada formación de flóculos por el corto tiempo que permanece esta parte del flujo en el reactor, que en el caso de la cámara 1, llega a ser solo la mitad del tiempo teórico de retención (Tabla 5.4).

Mientras el flujo predominantemente mezclado permanece más tiempo en la unidad lo que generaría depósitos de sedimentos.

Sedimentador

Los flujos de pistón puro y el predominantemente mezclado son prácticamente nulos, lo que indica que el flujo afectado por cortocircuitos y zonas muertas existentes en la unidad es mínimo.

Evaluación de la PTA de la CTD: Evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada

Introducción

Se evalúa los elementos que integran la planta de tratamiento de agua, se excluye lo relativo a operación o mantenimiento debido al manejo empírico que se da en la actualidad, en estos casos se determina como se está operando actualmente y en lugar de evaluar, se procede a determinar los parámetros óptimos correspondientes, su selección se realiza en función de la estructura existente, pues el fin de determinarlos, es optimizar los sistemas actuales.

6.1. Evaluación del proceso de coagulación

La coagulación debe lograr la desestabilización de partículas suspendidas en el agua, es decir eliminar las fuerzas que las mantienen separadas.

La eficiencia en la coagulación depende de variables relacionadas con las características del agua, características de sustancias químicas utilizadas, características de las unidades de dosificación.

La evaluación de estas variables comprende:

- Parámetros óptimos del proceso
- Recepción, manejo y almacenamiento de sustancias químicas
- Dosificación de sustancias químicas

No se realiza la evaluación completa del proceso de coagulación debido a que este actualmente es llevado a cabo de manera empírica, esto, a pesar de existir un estudio sobre la dosis óptima de coagulante aplicable, por lo que, se completa la determinación de parámetros óptimos del proceso y se establece, almacenamiento, dosificación y ensayos que se deben realizar en relación con las sustancias químicas, todo, según nuevos lineamientos.

El estudio que existe es “Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la Planta de Tratamiento de la Central Termoeléctrica El Descanso” en el cual

se determina la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio en función de la turbiedad, para el tratamiento de agua en la PTA de la CTD. Corresponde a un trabajo de titulación de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cuenca realizado por Abdón Izquierdo en 2015.

A continuación, se presenta un resumen del trabajo de Izquierdo:

Resumen: “Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de la central termoeléctrica El Descanso” [8]

Objetivo general

“Determinar la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio, en función de la turbiedad, color, pH para el tratamiento de agua en la Planta de la Central Termoeléctrica El Descanso”.

Metodología

Se realizan 26 ensayos de prueba de jarras con varias muestras de agua cruda de diferente turbiedad y color para determinar la dosis óptima de coagulante con cada una, con estos resultados se ajusta una curva de correlación para los datos de turbiedad del agua cruda en relación con la dosis óptima de coagulante sulfato de aluminio.

Resultado

Se obtiene una curva de correlación para turbiedad del agua cruda y la dosis de coagulante que se debe aplicar, esta se muestra en la siguiente figura

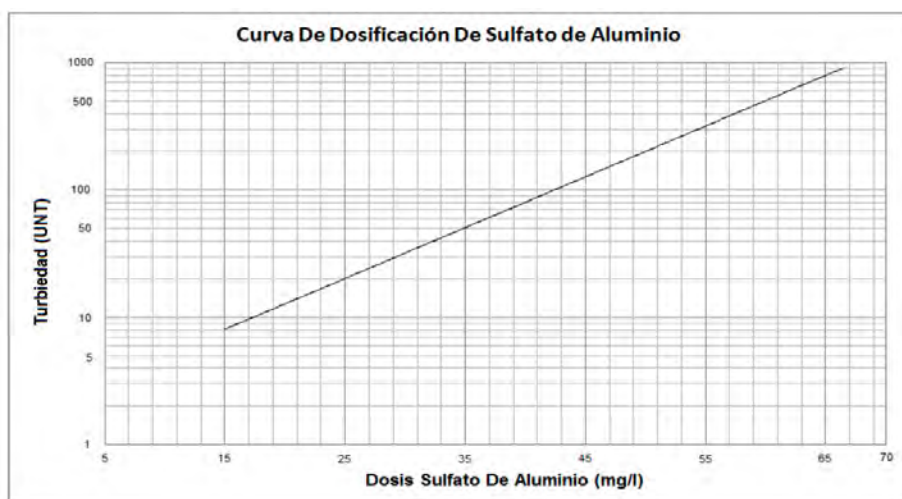


Figura 6.1: Curva de relación entre la turbiedad del agua cruda y la dosis de coagulante a aplicar en el proceso de coagulación, PTA de la CTD [8].

Conclusión

Se determina una curva de dosificación de coagulante que “permitirá añadir la cantidad exacta de sulfato de aluminio, optimizando el proceso”.

6.1.1. Selección de los parámetros óptimos del proceso de coagulación

6.1.1.1. Parámetros de dosificación

Un fin de la selección de parámetros óptimos mediante simulación en laboratorio es optimizar sistemas existentes.

Para la selección de los parámetros de dosificación se deben realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Determinación de la dosis óptima de coagulante.
- Selección del coagulante apropiado.
- Concentración óptima de coagulante.
- pH óptimo de coagulación y dosis de modificador de pH.
- Selección de ayudante de coagulación y dosis óptima.

En este caso solo se empleará uno de estos “Determinación de la dosis óptima de coagulante” con los resultados de Izquierdo expuestos anteriormente, pues con su aplicación se lograría obtener el agua con la calidad requerida por la PTA de la CTD en lo referente a turbiedad, así lo reflejan las simulaciones realizadas por él.

6.1.1.1.1. Determinación de la dosis óptima de coagulante

Se determina que se debe utilizar los resultados obtenidos por Izquierdo en su trabajo “Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la Planta de Tratamiento de la Central Termoeléctrica El Descanso” pues fue evaluado y aceptado.

Entonces, la curva de dosificación de coagulante para la PTA de la CTD será la que obtuvo Izquierdo, figura 6.1.

Se recreó la curva de dosificación de coagulante realizada por Izquierdo tomando como base sus propios datos de turbiedad y de dosis óptima de coagulante, con el fin de ver que ajustes había realizado y además encontrar una ecuación que la defina.

Se obtuvo la curva creando una línea de tendencia exponencial en EXCEL de los datos crudos cuya ecuación es:

$$y = 2,09.e^{0,0907x}$$

Donde:

y : Turbiedad. [UNT]

x : Dosis de Sulfato de Aluminio. [mg/l]

La dosis óptima de sulfato de aluminio en relación con la turbiedad según la ecuación mostrada y por ende según la figura 6.1 resultado del trabajo de Izquierdo [8], se expone en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Relación entre la turbiedad del agua cruda y la dosis de coagulante a aplicar en el proceso de coagulación. PTA de la CTD [8].

Turbiedad	Dosis óptima de Sulfato de Aluminio
UNT	mg/l
12.9	20
20	25
40	33
60	37
80	40
100	43
120	45
200	51
300	55
400	58
500	61
600	63
700	65
800	66
835	67

6.1.1.1.2. Selección del coagulante apropiado

El sulfato de aluminio tipo A en estado granular es el coagulante que se utiliza actualmente en la planta. Se considera óptimo seguir utilizándolo, pues la dosis óptima determinada por Izquierdo [8] corresponde a la de este tipo de coagulante y además evitar mayores cambios en la operación actual de la planta. CEPIS lo coloca en primer lugar entre los coagulantes más usados, por lo cual, es generalmente el adecuado por su costo y eficiencia.

Las especificaciones técnicas del sulfato de aluminio que utilizó Izquierdo no están completamente detalladas en su trabajo según los parámetros que constan en CEPIS.

Con el fin de tener especificaciones completas para la adquisición del coagulante en la planta se procede a definir las que da CEPIS haciendo referencia a AWWA para tratamiento de agua de consumo humano, pues son las comunes en el mercado. Se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2: Especificaciones técnicas del sulfato de aluminio para la PTA de la CTD [4].

Parámetro		Estado físico
Impurezas objetables		No
Granulometría		90 % pasa #10
Contenido Aluminia	Al_2O_3	17 %
	Al soluble en el agua	9 %
Contenido hierro Fe_2O_3		0,75 %
Insolubles suspendidos	Sin purificar	10 %
	Purificado	0,5 %

6.1.1.1.3. Concentración óptima de coagulante

Se determina óptimo la concentración de 5 %, pues es la que se usó para el ensayo de la dosis óptima de coagulante por razones prácticas de operabilidad (1 saco de 50 Kg de Sulfato de Aluminio en un tanque de preparación de solución de 1000 litros).

6.1.1.1.4. pH óptimo de coagulación y dosis de modificador de pH

Se determina que no es adecuada la utilización de un modificador de pH, pues implicaría un mayor costo por el regulador de pH que se usaría, además de lo definido anteriormente.

El pH en las muestras para la determinación de la dosis óptima varió de 6.74 a 7.94 en los ensayos realizados por Izquierdo.

El rango sugerido por CEPIS es de 6.5 a 7 para remover turbiedad, pero como se indicó anteriormente los resultados de Izquierdo muestran que se obtuvo un agua con la turbiedad adecuada para la CTD en las simulaciones realizadas sin necesidad de variar el pH.

Pero, para tener agua en la planta en similares características de pH con las que se realizó la determinación de dosis óptima, se define el rango óptimo de pH de 6.5 a 8.

6.1.1.1.5. Selección de ayudante de coagulación y dosis óptima

Se determina que no es adecuada la utilización de un ayudante de coagulación, pues implicaría un mayor costo por el ayudante de coagulación, además de lo definido.

6.1.1.2. Resultados

6.1.1.2.1. Parámetros de dosificación

Para la dosificación en la PTA de la CTD se definió los parámetros mostrados en la tabla 6.3.

Tabla 6.3: Parámetros óptimos de dosificación. PTA de la CTD.

Coagulante apropiado	Sulfato de aluminio granular tipo A con las especificaciones de la tabla 6.2
Dosis óptima de coagulante	Curva de relación entre la turbiedad del agua cruda y la dosis de coagulante a aplicar en el proceso de coagulación de la figura 6.1
Concentración óptima de coagulante	5 %
pH óptimo de coagulación	6,5 – 8

6.1.2. Recepción, manejo y almacenamiento de sustancias químicas

Se evalúa si las condiciones existentes de recepción, manejo y almacenamiento son aptas, tomando en cuenta los parámetros seleccionados en este trabajo.

Parámetro óptimo

Se debe cumplir con los siguientes lineamientos:

- El diseño de la zona de entrada al almacenamiento debe ser adecuado para que el material sea correctamente recepcionado.
- Las especificaciones técnicas de las sustancias químicas deben coincidir con las especificaciones originales.
- Rotulado, envases y estado físico (líquido, sólido en sus diferentes tipos, gaseoso) de las sustancias deben coincidir con las especificaciones originales.
- El lugar de almacenamiento deberá tener una capacidad para mínimo un mes.

Para determinar si el almacén tiene la capacidad adecuada se procede a realizar el cálculo de la cantidad de sulfato de aluminio necesario en la PTA.

Cálculo de parámetros

Cantidad de material requerido

La cantidad, M, de sulfato de aluminio se calcula con la siguiente fórmula, en función de la dosificación óptima y del caudal de agua que se trata.

$$M = D.Q.T$$

Donde:

M: Cantidad del material requerido

D: Dosis óptima. Se usa la dosis óptima promedio que es igual al promedio de la dosis requerida cuando se produce la turbiedad máxima y la turbiedad mínima

Q: Caudal de diseño

T: Tiempo

Cantidad de bolsas de material requeridas

Las bolsas de sulfato de aluminio para adquirir, por razones de operatividad, pueden ser de 25 Kg como se lo hace actualmente o de 50 Kg.

Entonces, en función del volumen requerido por mes se calcula el número de bolsas.

$$N = \frac{M}{\text{Contenido de una bolsa}}$$

Donde:

N: Número de bolsas de sulfato de aluminio requerido en un mes

M: Cantidad de sulfato de aluminio requerido en un mes para la dosis óptima promedio

Volumen del material por almacenar

El volumen por almacenar de sulfato de aluminio en un mes esta dado por:

$$V = N.Vu$$

Donde:

V : Volumen del material por almacenar en un mes

N : Cantidad de unidades necesarias por mes (bolsas)

Vu : Volumen de la unidad (bolsa)

Área neta que ocupa el material por almacenar

La altura de almacenamiento debe ser de 2 metros para transferencia manual, así el operador puede tener acceso a las bolsas del extremo superior y cuando es de forma mecánica debe ser de 3 metros máximo.

El área neta que ocupará el material depende de la altura de pilas. El área que ocupa cada pila, A_p , es el de una unidad, A_u , es decir:

$$A_p = A_u$$

Entonces, según el número de unidades (bolsas) necesario por mes, tanto si se adquieren de 25 Kg o de 50 kg, se calcula el área total, A , que se requiere para almacenamiento.

$$\text{Número de pilas} = \text{Cantidad de unidades requerida en un mes} / N_p$$

$$A = \text{Número de pilas} \cdot A_p$$

6.1.2.1. Resultados

Se presenta las condiciones de la PTA de la CTD referentes a los lineamientos que se deben cumplir y su aceptabilidad:

■ Parámetro

El diseño de la zona de entrada al almacenamiento debe ser adecuado para que el material sea correctamente recepcionado.

Condición

No existen desniveles como gradas, desde la zona de descarga de los vehículos hasta el almacén, además, es una distancia de 50 m aproximadamente, por lo que, es factible el transporte manual.

Aceptabilidad

Correcto.

■ **Parámetro**

Las especificaciones técnicas de las sustancias químicas deben coincidir con las especificaciones originales.

Condición

El producto que se compra es:

Sulfato de aluminio granulado tipo A. Fabricante: Iris Industrial S.A.

En cuanto al tipo y estado de sulfato de aluminio son los correctos según lo definido en este trabajo.

En el empaque consta que cumple con la con la norma AWWA para consumo humano y con las especificaciones técnicas expuestas en la siguiente tabla:

Tabla 6.4: Especificaciones técnicas de Sulfato de Aluminio Pantera producido por Iris Industrial S.A. Actual coagulante utilizado en la PTA de la CTD.

Parámetro	Valor
Contenido Aluminia Al_2O_3	17 %
Basicidad Al_2O_3	0,6 %
Contenido de Hierro Fe_2O_3	0,05 %
Contenido de Hierro Fe_2O_3	0,05 %
Insolubles	0,2 %

Es decir, se estaría cumpliendo con las especificaciones definidas en este trabajo.

Aceptabilidad

Correcto.

■ **Parámetro**

Rotulado, envases y forma de las sustancias deben coincidir con las especificaciones originales.

Condición

El rotulado contiene la mayoría de especificaciones técnicas que define CEPIS, los embases son bolsas de plástico que se consideran adecuadas, el coagulante que se utiliza si es granular según lo seleccionado.

Aceptabilidad

Correcto.

■ **Parámetro**

El lugar de almacenamiento deberá tener una capacidad para mínimo un mes.

Condición

Cantidad de coagulante requerido en la PTA de la CTD

Se calculó la cantidad requerida de sulfato de aluminio por hora y por mes, para la dosis óptima mínima, máxima y promedio, tabla 6.5.

Tabla 6.5: Cantidad de sulfato de aluminio requerido en la PTA de la CTD.

Dosis	Turbiedad	Caudal	Valor dosis	Cantidad por hora	Cantidad por mes
	UNT	l/s	mg/l	kg	kg
Mín.	12.9	15	20	1.076	774.712
Máx.	835	15	67	3.603	2594.438
Media	100.8	15	43	2.332	1684.542

Cantidad de bolsas de coagulante requeridas

En la siguiente tabla se muestra el número de bolsas de 25 Kg o de 50 kg requeridas por mes para la dosis óptima de coagulante promedio.

Tabla 6.6: Cantidad de bolsas de sulfato de aluminio requerido en la PTA de la CTD.

Cantidad de sulfato de aluminio requerido en un mes	
Bolsas de 25 Kg	Bolsas de 50 Kg
67	34

Volumen y área que ocupa el coagulante por almacenar en un mes

El volumen y área, que ocupará el coagulante en almacén, así como valores calculados para su obtención, se muestran en la siguiente tabla, tomando en cuenta que se puede almacenar el coagulante en bolsas de 25 Kg o de 50 Kg.

Tabla 6.7: Volumen y área requeridos de sulfato de aluminio por mes en la PTA de la CTD.

Parámetro	Unidad	Bolsas de 25 Kg	Bolsas de 50 Kg
Dimensión	—	0.6m x 0.5m x 0.2m	1.2m x 1.0m x 0.2m
Volumen de la unidad (Bolsa)	m^3	0.06	0.12
Número de unidades (bolsas) que se pueden almacenar por pila.	—	10	10
Número de pilas que se forman del almacenaje el coagulante de un mes	—	7	3
El área que ocupa una pila	m^2	0.3	1.2
Volumen del material por almacenar en un mes	m^3	4.043	4.043
Área de almacenaje necesaria para un mes	m^2	2.021	4.043

El almacén es un cuarto con un área mayor a la requerida para almacenamiento de sulfato de aluminio de un mes. Actualmente existe una tarima de 5 metros de largo para este fin. El almacén tiene una capacidad adecuada.

Aceptabilidad

Correcto.

6.1.2.1.1. Parámetros operacionales de almacenamiento

La cantidad que se debe tener almacenada es, como lo indica CEPIS, la correspondiente a la necesaria en un mes. Mientras la cantidad mínima de almacenamiento se definió en base al tiempo que demora la entrega del pedido, 3 días, según lo expuesto por el operador.

Entonces, la cantidad de coagulante requerido en la PTA de la CTD se define según la siguiente tabla:

Tabla 6.8: Coagulante requerido en la PTA de la CTD.

Coagulante requerido en la PTA de la CTD		
Requerimiento	Bolsas de 25 Kg	Bolsas de 50 Kg
Cantidad de bolsas de coagulante requeridas en un mes	67	34
Cantidad mínima que se debe tener almacenada	20	10

6.1.3. Dosificación de sustancias químicas

Se evalúa el sistema actual de dosificación de la PTA, tomando en cuenta los nuevos parámetros determinados en este trabajo.

6.1.3.1. Composición sistema de dosificación

Parámetro óptimo

A continuación, se muestran algunas de las consideraciones que CEPIS da para los equipos de dosificación por solución de gravedad:

El sistema debe asegurar una aplicación de dosis exacta por unidad de tiempo mediante controles que permiten fijar la cantidad de sustancia.

El principio en que se fundamentan es una carga de agua constante sobre un orificio para asegurar un caudal constante. El caudal se calibra a la salida mediante una válvula.

Incluyen tanques de preparación de solución. Siempre se deben considerar por lo menos dos tanques.

Una composición típica de un sistema de dosificación por solución de gravedad se muestra en la figura 6.2

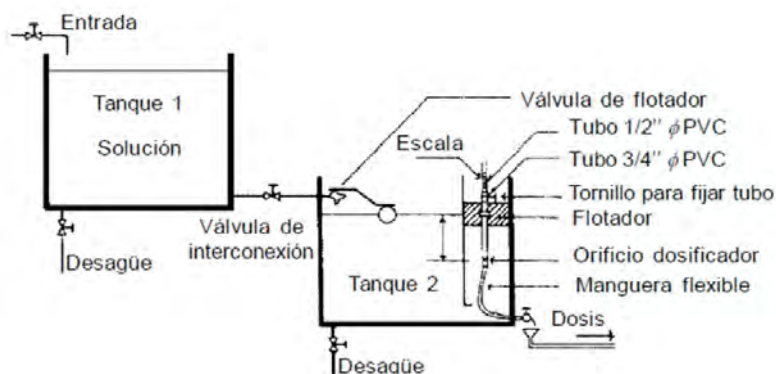


Figura 6.2: Esquema de un sistema de dosificación por solución de gravedad [5].

6.1.3.2. Capacidad de los sistemas

Parámetro óptimo

El dosificador debe poder entregar el caudal de solución para condiciones de turbiedad máximas y mínimas.

A continuación, se determina los parámetros correspondientes para realizar esta evaluación, se determina si el actual sistema es apto para dosificar la cantidad requerida según los nuevos lineamientos definidos en este trabajo.

Cálculo de Parámetros

Curva de calibración de la válvula dosificadora

Esta curva relaciona la apertura de la válvula dosificadora de solución en función del caudal que dosifica.

Procedimiento de elaboración de la curva:

Se procede a tomar medidas del volumen entregado de solución, V , para diferentes aperturas de la válvula dosificadora en un cierto tiempo, t . Desde que empieza a salir agua hasta que el tubo dosificador se empieza a saturar y ya no dosifica de manera adecuada.

El caudal que se dosifica se calcula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q : Caudal que se dosifica

V : Volumen de una muestra

t : Tiempo de toma de una muestra

Se realiza una línea de tendencia de la relación entre la posición de la manija de la válvula y el caudal que pasa. Esta línea es la curva de dosificación. Con esta en la operación se puede dosificar el caudal deseado.

Determinación de la flexibilidad del equipo

La dosificación se debe realizar según la curva de dosificación, figura 6.1.

El caudal de solución de coagulante que se debe aplicar se calcula con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{Q \cdot D}{C}$$

Donde:

q : Caudal de solución que se debe aplicar

D : Dosis óptima de sulfato de aluminio

Q : Caudal de agua que se trata

C : Concentración de la solución

Se calcula el caudal de solución que se debe aplicar cuando existe máxima y mínima turbiedad.

La turbiedad máxima y mínima utilizada corresponden a los datos extremos con los que Izquierdo realizó la curva de dosificación [8].

Se compara y se determina mediante la curva de calibración de la válvula dosificadora si se puede entregar el caudal de solución para condiciones de turbiedad máximas y mínimas.

6.1.3.3. Resultados

Se presenta las condiciones de la PTA de la CTD referentes a los lineamientos que se deben cumplir y su aceptabilidad:

6.1.3.3.1. Composición sistema de dosificación

■ Parámetro

El sistema de dosificación debe contar con las consideraciones que CEPIS da para los equipos de dosificación por solución de gravedad.

Condición

Actual sistema de dosificación: La dosificación se da por vía húmeda mediante gravedad. La solución es preparada en dos tanques de 1000 litros [8] con orificio graduable conectados a tuberías que llevan la solución hacia una canaleta dosificadora, un tubo con agujeros ubicada a lo largo del resalto hidráulico.

Determinación: El sistema de dosificación de la PTA de la CTD no asegura una aplicación de dosis exacta, pues, los tanques donde se prepara la solución son los que tienen el orificio que conduce la solución hacia el vertedero, de esta forma la carga de agua va disminuyendo con el tiempo y el caudal aplicado de solución disminuye. Por esto, es que siempre se debe tener tanques para preparación de solución y otro que siempre tenga carga constante al recibir solución mediante una válvula de flotador de los tanques de preparación, como se muestra en la figura 6.2. Por lo que, se debe implementar el sistema de dosificación mostrado en la figura 6.2 en la PTA de la CTD. Teniendo en cuenta que es necesario la implementación de un nuevo sistema de dosificación, se realiza las determinaciones de capacidad para la condición actual del sistema, para que se dé el funcionamiento de la PTA de la CTD hasta que se realice la implementación.

Aceptabilidad

Incorrecto.

6.1.3.3.2. Capacidad del sistema

■ Parametro

El dosificador debe poder entregar el caudal de solución para condiciones de turbiedad máximas y mínimas.

Condición

Cálculo de Parámetros

Curva de calibración de la válvula dosificadora

Como se explicó al no existir una carga constante en los tanques de dosificación, el caudal que se dosifica es variable. La curva varía de acuerdo como se va vaciando el contenido del tanque. La curva que se elabora se realizó con el tanque casi lleno,

En la tabla 6.9 se muestra los datos registrados de relación de la posición de la manija de la válvula y el caudal que pasa. La posición se define según su ángulo de giro.

Tabla 6.9: Relación de la posición de la manija de la válvula dosificadora de coagulante y el caudal dosificado. PTA de la CTD.

Apertura válvula	Tiempo	Volumen	Caudal dosificado
Grados	s	ml	l/min
25	60	150	0.15
30	60	490	0.49
40	30	420	0.84
45	20	675	2.025
45	—	—	2.025

En Excel se realizó una línea de tendencia de los datos de relación entre la la posición de la manija de la válvula y el caudal que pasa. Esta línea es la curva de dosificación determinada. La curva se muestra en la siguiente figura:

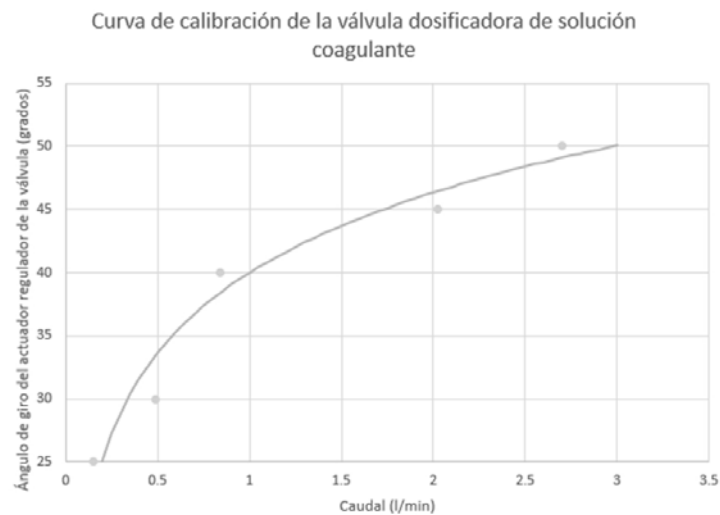


Figura 6.3: Curva de calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante, PTA de la CTD.

Determinación de la flexibilidad del equipo

En la siguiente tabla se muestra los parámetros de dosificación para turbiedad máxima y mínima.

Tabla 6.10: Parámetros de dosificación para turbiedad máxima y mínima. PTA de la CTD.

Turbiedad	Valor Turbiedad	Caudal, Q	Dosis, D	Concentra- ción, C	Caudal de solución de coagulante, q
—	UNT	l/s	mg/l	mg/l	l/min
Mín.	12.9	15	20	50 000	0.359
Máx.	835	15	67	50 000	1.201

Nota: La turbiedad máxima y mínima utilizada corresponden a los datos extremos con los que Izquierdo realizó la curva de dosificación [8].

El dosificador si puede entregar el caudal de solución para condiciones de turbiedad máximas y mínimas.

Aceptabilidad

Correcto.

6.2. Evaluación de mezclador

El mezclador debe producir las reacciones de coagulación correspondiente ya sean de adsorción o de barrido.

La eficiencia en la mezcla rápida depende de variables químicas relacionadas con el tipo, dosis, concentración del coagulante y variables físicas como el tiempo e intensidad de la mezcla provocada por la energía disipada en el caso de una coagulación por adsorción.

La evaluación de las variables comprende:

- Geometría de la unidad
- Punto de aplicación de las sustancias químicas
- Determinación del tiempo de mezcla
- Determinación de la intensidad de la mezcla
- Condiciones hidráulicas de las obras de interconexión

En el anexo A, Planos de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A., consta las dimensiones de la unidad de mezcla consideradas para esta evaluación.

6.2.1. Geometría de la unidad y punto de aplicación de las sustancias químicas

CEPIS contempla la correcta proyección de la unidad y el adecuado colocado espacial de coagulante.

Para esto, se evalúa la unidad existente con criterios de diseño de vertederos como mezcladores expuestos en “Teoría y práctica de la purificación del agua” de Arboleda [9].

Parámetros óptimos

Arboleda [9] expone en relación con la geometría de la unidad y el punto de aplicación de sustancias químicas:

- Los coagulantes deben aplicarse en el punto “I” para estimular la dispersión según figura 6.4
- Los vertederos deben calcularse con caída, y , entre 2 y 3 veces h_c .

El punto “I” se encuentra a una distancia X_1 del vertedero:

$$X_1 = 4,3y\left(\frac{h_c}{y}\right)^{0,9}(CEPIS)$$

Donde:

Los factores y , h_a son las dimensiones que se muestran en la figura 6.4 del funcionamiento de un vertedero como mezclador.

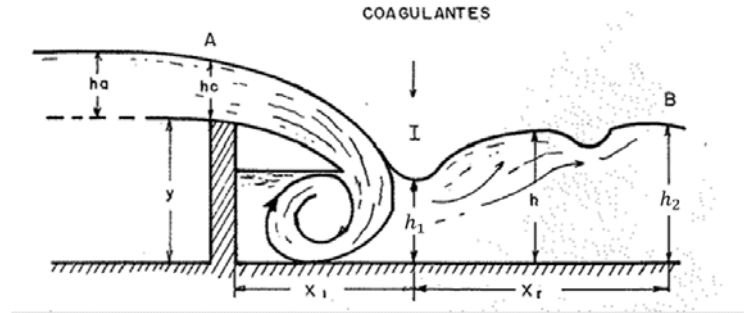


Figura 6.4: Funcionamiento de vertedero como mezclador [9].

6.2.2. Determinación del tiempo de mezcla

Parámetros óptimos

Para CEPIS en una coagulación por adsorción el tiempo de mezcla debe ser menor a un segundo, mientras que si se produce coagulación por barrido debe estar entre menos de 1 a 7 segundos.

Para la determinación del tiempo de retención, no se utiliza los procedimientos descritos en el manual de evaluación de CEPIS: ensayo de trazadores o de determinación la relación volumen sobre caudal, debido al corto tiempo de mezcla que se tiene con el vertedero, que dificulta la medición con trazadores y la determinación del volumen se considera no adecuado. En su lugar se realiza un cálculo teórico del tiempo de retención con las dimensiones de la unidad mediante los criterios definidos en Teoría y práctica de la purificación del agua de Arboleda [9] para vertederos como mezcladores, según ecuaciones de Richter y Scimeni, pues la unidad no presenta defectos apreciables que alteren resultados teóricos.

Entonces para el cálculo del tiempo de retención se procede así:

Se calcula la altura conjugada h_1 :

$$h_1 = \frac{h_c \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{y}{b} - \frac{3}{2}}}$$

Donde:

$$b = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (CEPIS)$$

Siendo q el caudal unitario dado por el vertedero:

$$q = \frac{Q}{L}$$

Donde:

Q : Caudal

L : Largo del vertedero

El factor “ y ” es la dimensión que se muestran en la figura 6.4 del funcionamiento de un vertedero como mezclador.

Se calcula el número de Froude:

$$N_f = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Donde:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

Se calcula la altura conjugada h_2 :

$$h_2 = \frac{h_1}{2}(-1 + \sqrt{1 + 8N_f^2})$$

Donde:

La velocidad v_2 está dada por:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

El tiempo de mezcla es:

$$T_r = \frac{x_r}{v_m}$$

Donde:

$$x_r = 6(h_2 - h_1)$$

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

6.2.3. Determinación de la intensidad de la mezcla

Parámetros óptimos

Para mezcla por coagulación de barrido los gradientes adecuados serían de 400 a 800 s^{-1} , y con coagulación por adsorción, gradientes entre 1000 y 3000 s^{-1} [9], según Arboleda.

Mientras CEPIS define el rango óptimo de gradiente de velocidad según el tipo de unidad y la coagulación para las que son eficientes, estos se muestran en la tabla 6.11.

Se determina el gradiente de velocidad:

El gradiente medio de velocidad, G , puede ser calculado con una ecuación derivada de la de Camp y Stein [2]:

Tabla 6.11: Gradientes óptimos de mezcla [4].

Unidad de mezcla	Valores de G óptimos s^{-1}	Coagulación adecuada
Mezclador	800 – 1000	Barrido
Salto hidráulico	≈ 1000	Barrido y adsorción
Difusores	800 – 1000	Barrido y adsorción
Mezcladores de línea	3000 – 5000	Barrido y adsorción

$$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} \sqrt{\frac{H}{T_r}}$$

Donde:

G : Gradiente de velocidad

H : Pérdida de carga

T_r : Tiempo de retención

μ : Coeficiente de viscosidad absoluta del agua

δ : Peso específico del agua

Se determina la pérdida de carga:

La ecuación de energía en un flujo gradualmente variado entre dos secciones apartadas en un canal abierto es:

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + z_2 + H$$

Donde:

v : Velocidad

g : Gravedad

h : Profundidad de agua

z : Cota del fondo con respecto al nivel de referencia

H : Pérdida de carga

La relación $\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ se determina en base a la temperatura del agua según la tabla 6.12 dada por CEPIS.

Temperatura ($^{\circ}C$)	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$
0	2337
4	2502
10	2737
15	2920
17	2998
20	3115
25	3267

Tabla 6.12: Relación de temperatura con factores de gradiente hidráulico [4].

6.2.4. Condiciones hidráulicas en las interconexiones

Se determina las condiciones hidráulicas existentes en las estructuras de interconexión entre la mezcla rápida y los floculadores.

En la planta la interconexión es un canal desde el vertedero hasta el floculador.

Se mide el tiempo real de retención mediante ensayo de trazadores, la pérdida de carga y se determina el gradiente de velocidad según el procedimiento indicado en 6.2.3.

Parámetros óptimos

El gradiente de velocidad en interconexión entre unidades de mezcla rápida y floculación no debe exceder los 100 s^{-1} . Pueden ser perjudiciales valores superiores.

6.2.5. Resultados

Los resultados de la evaluación de los parámetros de mezcla rápida, junto con criterios, cálculos, se muestran en las tablas 6.13, 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17.

6.2.5.1. Geometría de la unidad

Tabla 6.13: Evaluación de geometría de la unidad de mezclador. PTA de la CTD.

Datos	Ecuaciones	Cálculos	Resultados
$Q = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$ $L = 0,41 \text{ m}$ $y = 0,67 \text{ m}$ (Anexo A)	$q = \frac{Q}{L}$	$q = \frac{0,015 \text{ m}^3}{0,41 \text{ m}}$	$q = 0,037 \text{ m}^3/\text{s/m}$
	$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	$h_c = \sqrt[3]{\frac{(0,037 \text{ m}^3/\text{s/m})^2}{9,81 \text{ m/s}^2}}$	$h_c = 0,051 \text{ m}$
	$2h_c \leq y \leq 3h_c$	$2(0,051 \text{ m}) \leq y \leq 3(0,051 \text{ m})$	$0,10 \text{ m} \leq y \leq 0,15 \text{ m}$ Se tiene en la planta $y = 0,67 \text{ m}$

Interpretación de resultados

No cumple con el criterio de diseño para una caída del vertedero adecuada.

6.2.5.2. Punto de aplicación de sustancias químicas

Tabla 6.14: Evaluación de punto de aplicación de sustancias químicas en el mezclador. PTA de la CTD.

Datos	Ecuaciones	Cálculos	Resultados
$h_a = 0,086 \text{ m}$ (Relación caudal-altura. Vtedero. Ecuación vtedero) $L = 0,41 \text{ m}$ (Anexo A)	$X_1 = 4,3y\left(\frac{h_c}{y}\right)^{0,9}$	$X_1 = 4,3(0,086 \text{ m})\left(\frac{0,051 \text{ m}}{0,086 \text{ m}}\right)^{0,9}$	$X_1 = 0,29 \text{ m}$ Se tiene en la planta $X_1 = 0,25 \text{ m}$

Interpretación de resultados

No se cumple con la aplicación de coagulante en el punto para estimular la dispersión.

6.2.5.3. Determinación del tiempo de mezcla

Tabla 6.15: Evaluación de tiempo de mezcla del mezclador. PTA de la CTD.

Datos	Ecuaciones	Cálculos	Resultados
Punto inicial: I Punto final: B Figura 6.4	$b = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	$b = \sqrt[3]{\frac{(0,037m^3/s/m)^2}{9,81m/s^2}}$	$b = 0,051m$
	$h_1 = \frac{h_c \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{y}{b} - \frac{3}{2}}}$	$h_1 = \frac{(0,051m) \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{0,67m}{0,051m} - \frac{3}{2}}}$	$h_1 = 0,016m$
	$v_1 = \frac{q}{h_1}$	$v_1 = \frac{0,037m^3/s/m}{0,016m}$	$v_1 = 2,24m/s$
	$N_f = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$	$N_f = \frac{2,24m/s}{\sqrt{(9,81m/s^2)(0,016m)}}$	$N_f = 5,59$
	$h_2 = \frac{h_1}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8N_f^2})$	$h_2 = \frac{0,016m}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8(5,59)^2})$	$h_2 = 0,12m$
	$v_2 = \frac{q}{h_2}$	$v_2 = \frac{0,037m^3/s/m}{0,12m}$	$v_2 = 0,30m/s$
	$vx_r = 6(h_2 - h_1)$	$x_r = 6(0,12m - 0,016m)$	$x_r = 0,630m$
	$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$	$v_m = \frac{2,24m/s + 0,30m/s}{2}$	$v_m = 1,27m/s$
	$T_r = \frac{x_r}{v_m}$	$T_r = \frac{0,630m}{1,27m/s}$	$T_r = 0,50s$

Interpretación de resultados

El tiempo de mezcla es óptimo para coagulación tanto de adsorción como de barrido.

6.2.5.4. Determinación de la intensidad de mezcla

Tabla 6.16: Evaluación de intensidad de mezcla de mezclador, PTA de la CTD.

Datos	Ecuaciones	Cálculos	Resultados
Punto inicial: I , Punto final: B , Figura 6.4	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ en función de T (temperatura)	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ en función de $T = 16^\circ C$ (temperatura promedio 2009-2018) Tabla 6.12	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}} = 2959$
$T: 16^\circ C$ (temperatura promedio 2009-2018). Se considera $z_1 = z_2$	$H = \frac{v_1^2}{2g} + h_1 + z_1 - (\frac{v_2^2}{2g} + h_2 + z_2)$	$H = \frac{(2,24m/s)^2}{2(9,81m/s^2)} + 0,016m - (\frac{(0,30m/s)^2}{2(9,81m/s^2)} + 0,12m)$	$H = 0,146m$
	$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} \sqrt{\frac{H}{T_r}}$	$G = 2959 \sqrt{\frac{0,146m}{0,50s}}$	$G = 1603s^{-1}$

Interpretación de resultados

El gradiente es óptimo para la coagulación.

6.2.5.5. Condiciones hidráulicas en las interconexiones

Tabla 6.17: Evaluación de Condiciones hidráulicas en las interconexiones. PTA de la CTD.

Datos	Criterios	Cálculos	Resultados
Se considera la interconexión desde el punto B después del vertedero y el inicio del floculador. Los parámetros para determinar la pérdida de carga en el punto inicial se calculan teóricamente siendo este el punto final del resalto, esto por la dificultad de medición por la turbulencia. $Q = 0,0106m^3/s$ $z'_1 = 1,501m$ (Anexo A) $z'_2 = 1,49m$ (Anexo A) $h'_2 = 0,115m$ (medido) $L' = 0,47m$ (Anexo A)	$q = \frac{Q}{L}$	$q = \frac{0,0104m^3/s}{0,41m}$	$q = 0,026m^3/s/m$
	$b = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	$b = \sqrt[3]{\frac{(0,026m^3/s/m)^2}{9,81m/s^2}}$	$b = 0,041m$
	$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	$h_c = \sqrt[3]{\frac{(0,026m^3/s/m)^2}{9,81m/s^2}}$	$h_c = 0,041m$
	$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	$h_c = \sqrt[3]{\frac{(0,026m^3/s/m)^2}{9,81m/s^2}}$	$h_c = 0,041m$
	$h_1 = \frac{h_c \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{q}{b} - \frac{3}{2}}}$	$h_1 = \frac{(0,041m) \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{0,026m^3/s/m}{0,041m} - \frac{3}{2}}}$	$h_1 = 0,012m$
	$v_1 = \frac{q}{h_1}$	$v_1 = \frac{0,026m^3/s/m}{0,012m}$	$v_1 = 2,20m/s$
	$N_f = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$	$N_f = \frac{2,20m/s}{\sqrt{(9,81m/s^2)(0,012m)}}$	$N_f = 6,49$
	$h_2 = \frac{h_1}{2}(-1 + \sqrt{1 + 8N_f^2})$	$h_2 = \frac{0,012m}{2}(-1 + \sqrt{1 + 8(6,49)^2})$	$h_2 = 0,102m$
	$v_2 = \frac{q}{h_2}$	$v_2 = \frac{0,026m^3/s/m}{0,102m}$	$v_2 = 0,25m/s$
	$v'_2 = \frac{Q}{(h'_2 L')}$	$v'_2 = \frac{0,0106m^3/s/m}{0,115m(0,47m)}$	$v'_2 = 0,20m/s$
	$h'_1 = h_2$ $v'_1 = v_2$ (punto inicial)		$h'_1 = 0,102m$ $v'_1 = 0,25m/s$
	$H = \frac{v_1^2}{2g} + h'_1 + z'_1 - (\frac{v_2^2}{2g} + h'_2 + z'_2)$	$H = \frac{(0,25m/s)^2}{2(9,81m/s^2)} + 0,102m + 0,501m - (\frac{(0,20m/s)^2}{2(9,81m/s^2)} + 0,115 + 1,49m)$	$H = -0,001m$

Interpretación de resultados

Al ser la pérdida calculada negativa y cercana a cero, indica que: se debió cometer errores en la toma de mediciones por precisión de instrumentos, representa una pérdida no considerable. Por esto, el gradiente de velocidad también sería cercano a cero. Por lo tanto, las condiciones hidráulicas en la interconexión entre la mezcla rápida y el floculador son adecuadas.

6.2.5.6. Interpretación de resultados

No se cumple con parámetros que permitirían una mayor eficiencia en todo el proceso de tratamiento posterior hasta el filtrado, específicamente el punto de aplicación del coagulante y la geometría de la unidad.

El tiempo e intensidad de mezcla son adecuados para la coagulación, sin embargo, la mezcla no es efectiva por no estar el punto de aplicación del coagulante correctamente ubicado. Para el caso analizado del caudal normal de operación de 15 m/s el punto de aplicación no es el adecuado.

La interconexión entre el vertedero de mezcla rápida y el floculador es adecuada.

6.3. Evaluación del floculador

La función de esta unidad es la de la formación del flóculo.

Algunas de las principales variables en el proceso de floculación que influyen en su eficiencia son: la naturaleza del agua, la intensidad de agitación, el tiempo de floculación.

Para la evaluación se requiere determinar:

- Geometría de la unidad
- Caudal de operación
- Parámetros óptimos de floculación, gradientes de velocidad y tiempos de retención
- Tiempo de retención de la unidad de floculación
- Intensidad de floculación o gradientes de velocidad de la unidad
- Características hidráulicas de la unidad tipo de flujo, espacios muertos y cortocircuitos
- Tiempo de formación del flóculo
- Tamaño de flóculo producido

6.3.1. Geometría de la unidad

Se evalúa la correcta proyección de la unidad, su construcción y su estado de mantenimiento.

Se debe determinar:

- Si todas las pantallas se traslapan
- La uniformidad del espaciamiento entre pantallas en cada tramo
- La uniformidad del ancho de las vueltas y que este sea 1.5 el espaciamiento de las pantallas
- La igualdad de la profundidad inicial y final

En el anexo A, Planos del sistema de tratamiento de agua para la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A., consta las dimensiones utilizadas para esta evaluación.

6.3.2. Caudal de operación

Se requiere conocer el caudal para los cálculos que se realizan, cuando existe una sola unidad el caudal es el mismo de entrada a la planta, pero si varias unidades funcionan en paralelo se debe determinar el caudal de cada una mediante una prueba de distribución de caudales.

6.3.3. Parámetros óptimos del proceso

No se realizó la determinación de los parámetros óptimos del proceso, pues el plan de trabajo para esta evaluación no hace referencia a esta actividad, el plan comprende “evaluar hidráulicamente el funcionamiento actual de la planta de tratamiento de agua industrial de El Descanso. Para detallar el proceso de tratamiento de agua en la planta y evaluar cada una de las unidades de acuerdo con los requerimientos para los cuales fueron construidos. Se darán recomendaciones para mejorar el funcionamiento de ser identificadas posibles mejoras”. Una

determinación de los parámetros óptimos del proceso de floculación implica, en caso de requerir mejoras, la intervención en la estructura de la unidad; en el presente trabajo se realizan las evaluaciones con el propósito principal de definir los procesos de operación y mantenimiento óptimos de la planta, pues su único objetivo general es “Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de agua industrial de la central termoeléctrica El Descanso”.

6.3.4. Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad

Esta evaluación consta en el Capítulo 5. Evaluación de la PTA de la CTD: Análisis de flujo y factores que determinan los periodos de retención, de este trabajo.

6.3.5. Intensidad de floculación

Las intensidades de mezcla o gradientes de velocidad de las cámaras floculador fueron determinadas en el trabajo de titulación “Determinación de la dosis optima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de agua de la central termoeléctrica “El Descanso”” [8] el procedimiento utilizado para su obtención se encuentra en dicho trabajo.

Cálculo de parámetros

6.3.6. Tiempo de formación inicial del flóculo

Se determina el tiempo que tarda en iniciar la formación del flóculo.

Procedimiento

Desde el inicio del floculador se toman muestras en cada tramo.

Cada muestra se va observando a contra luz hasta observar una con indicios de formación del floculo.

Se determina el volumen, V , de la parte del floculador comprendida entre el inicio y el punto que se detecto los primeros floculos.

Se determina el tiempo de formación del flóculo, T_p :

$$T_p = \frac{V}{Q}$$

Donde:

T_p : Tiempo de formación del flóculo

V : Volumen de la parte del floculador comprendida entre el inicio y el punto que se detecto los primeros floculos

Q : Caudal en el floculador

6.3.7. Tamaño del flóculo producido

Parámetro óptimo

El tamaño del flóculo debe permitir su depositación.

En la siguiente figura se da una comparación visual de la Water Research Association que permite estimar el tamaño del floculo.

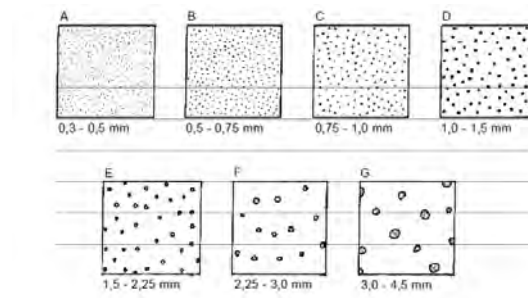


Figura 6.5: Comparador para estimar el tamaño del floculo producido según la Water Research Association [4].

En la tabla 6.18 se muestra el índice de floculación de Willcomb que permite determinar la calidad del floculo producido.

Número del índice	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Flóculo bien formado pero no uniformemente distribuido. (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita totalmente, dejando el agua cristalina.

Tabla 6.18: Índice de floculación de Willcomb [4].

Procedimiento

Se toma varias muestras al final del proceso de floculación con el fin de comparar resultados.

Se ve cada muestra a contra luz para determinar el tamaño del floculo producido haciendo una comparación visual con la figura de la Water Research Association, figura 6.5, y su calidad mediante la asignación del índice de Willcomb, tabla 6.18.

6.3.8. Resultados

Los resultados de la evaluación de los parámetros del floculador, junto con criterios, cálculos, se muestran a continuación.

6.3.8.1. Geometría de la unidad

Los resultados de la evaluación de los parámetros de geometría de la unidad, junto con su situación actual se exponen a continuación:

- Todas las pantallas se traslapan.
- A continuación, se detalla la situación del espaciamiento entre pantallas de las 3 cámaras del floculador.

En la cámara 1 el espaciamiento entre pantallas general es 0.45 m, el espaciamiento varía en pantallas del inicio y final de la unidad, en el caso menos uniforme el espaciamiento es 24 % mayor al general.

En la cámara 2 el espaciamiento entre pantallas general es 0.55 m, el espaciamiento varía en pantallas al inicio y final de la unidad, en el caso menos uniforme el espaciamiento es el 87 % del general.

En la cámara 3 el espaciamiento entre pantallas general es 0.53 m y 0.63 m de forma alternada, el espaciamiento varía en pantallas al inicio y final de la unidad, el caso menos uniforme se da al final de la cámara, el espaciamiento entre la pantalla y el borde de cemento es 0.72 m.

Las pantallas tienen en general un espaciamiento uniforme.

- El ancho de las vueltas del floculador se detalla a continuación.

En la cámara 1 el ancho de las vueltas general es de 0.6 m, con casos de variación de hasta 0.04 m, no es 1.5 veces el espaciamiento entre pantallas es decir 0.68 m.

En la cámara 2 el ancho de las vueltas es de 0.64 m y 0.66 m de manera alternada, las variaciones son menores. El ancho de las vueltas no es 1.5 veces el espaciamiento general, es decir, 0.83 m.

En la cámara 3 el ancho de las vueltas es de 1 metro las variaciones son menores. El ancho de las vueltas no es 1.5 veces el espaciamiento general es decir 0.80 m y 0.95 m alternadamente.

El ancho de las vueltas en general es uniforme, pero no es 1.5 veces el espaciamiento general, lo que podría generar una velocidad no adecuada en estas partes.

- Se considera que existe igualdad de la profundidad inicial y final.

Las pantallas son de asbesto cemento y miden todas 0.18 m de altura.

Las dimensiones del floculador se encuentran en el anexo A, Planos del Sistema de tratamiento de agua para la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A.

En síntesis, las unidades tienen en general una buena geometría conforme a los parámetros evaluados, están en un estado, respecto al mantenimiento, adecuado.

6.3.8.2. Caudal de operación

El caudal de operación es el mismo que ingresa a la planta, pues solo existe una unidad.

6.3.8.3. Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad

Los resultados están en el capítulo 5.

6.3.8.4. Intensidad de floculación

En la tabla 6.19 se presenta la intensidad de floculación o gradiente de velocidad del floculador obtenido por Abdón Izquierdo.

Cámara del floculador	Gradiente de velocidad (s^{-1})
1	67
2	47
3	42

Tabla 6.19: Gradientes de velocidad en las cámaras del floculador de la PTA de la CTD [8].

Cálculo de parámetros

6.3.8.5. Tiempo de formación inicial del flóculo

Se determinó que en el tercer tramo de la primera cámara ya existe indicios de formación de floculos.

En la figura 6.6 se muestra una fotografía de la muestra que se consideró que tenía los primeros flóculos formados.



Figura 6.6: Muestra del inicio de formación de flóculos en la PTA de la CTD.

En la siguiente tabla consta el tiempo de formación del flóculo, T_p , el volumen de la parte del floculador comprendida entre el inicio y el punto que se detectó los primeros floculos, V , y el caudal en el floculador cuando se realizó el ensayo, Q .

Parámetro	Unidad	Valor
V	m^3	0.608
Q	m^3/s	0.0118
T_p	s	51.5

Tabla 6.20: Tiempo de formación inicial del flóculo, PTA de la CTD.

Los resultados corresponden a las condiciones del momento del ensayo, no representan una condición general.

6.3.8.6. Tamaño del flóculo producido

En la siguiente figura constan fotografías de muestras de agua tomadas a la salida del floculador, se aprecia los flóculos producidos.



Figura 6.7: Fotografías de muestras de agua al final del proceso de floculación en la PTA de la CTD.

Se determinó que el tamaño del flóculo es de 0.75 mm a 1 mm.

Se determinó que el índice de floculación de Willcomb para el flóculo es de 4. Disperso. Flóculo bien formado pero no uniformemente distribuido. (sedimenta muy lentamente o no sedimenta).

Los resultados corresponden a las condiciones del momento del ensayo, no representan una condición general.

6.3.8.7. Interpretación de resultados

La unidad tiene una geometría adecuada, con excepción del incorrecto espaciamiento del ancho de vueltas que podría generar una velocidad que afecte el proceso de formación de flóculos. La unidad se encuentra en buen estado de mantenimiento.

En la salida del floculador se produce turbulencia, debido a la configuración de la estructura, lo que afecta a los flóculos, pues se aumenta el gradiente de velocidad, cuando este siempre se debe variar en forma decreciente hasta la sedimentación [5]

El tamaño del flóculo producido no es el adecuado, pues al comparar con los 7 tamaños de referencia de la Water Research Association es apenas similar al tercero de menor tamaño.

6.4. Evaluación del sedimentador

El proceso de sedimentación es el primero de remoción de impurezas en una planta convencional o en una de tecnología apropiada, el más importante en un sistema de filtración rápida, pues es el de mayor eficiencia en separar sólidos del agua.

Los factores que intervienen en la eficiencia del proceso de sedimentación son:

- Las características del agua.
- Las características del pretratamiento: coagulación y floculación.
- Configuración de la unidad: entrada, sedimentación, depósito de lodos y salida.

- Las características de obras de interconexión.
- Operación y mantenimiento.

La evaluación de los factores comprende:

- Eficiencia en función de la calidad del agua y la carga superficial.
- Geometría de la unidad.
- Comportamiento del canal de distribución.
- Tiempo de retención.
- Características hidráulicas.
- Velocidad óptima de sedimentación.
- Carga superficial real.
- Características de las zonas de entrada y salida.

6.4.1. Eficiencia

Los parámetros más importantes para determinar la eficiencia de un sedimentador son:

- Calidad del agua sedimentada
- Calidad del agua cruda
- Carga superficial

6.4.1.1. Eficiencia en función del agua sedimentada

Parámetro óptimo

El agua tratada por la PTA de la CTD debe tener una turbiedad máxima de 10 UNT como se definió en el capítulo 1. A pesar de que, si se cumple con este criterio, como indicaron los resultados de la inspección inicial, siempre se debe perfeccionar los diseños y optimizar operación y mantenimiento para que la sedimentación sea más eficiente, tratar de que la turbiedad sea la menor posible para aumentar la seguridad de la central en relación a los problemas a causa del agua.

Procedimiento

Se debe determinar la calidad del agua sedimentada en base a la turbiedad. Definir la frecuencia con la que el sedimentador produce agua de varios rangos de calidad.

Como en la planta no se realizaban ensayos de caracterización del agua en los procesos de tratamiento, solo existen registros de calidad de agua en el almacenamiento al final del proceso, se realiza la determinación de eficiencia sobre algunas muestras de agua sedimentada tomadas en esta evaluación.

La clasificación de la eficiencia de un sedimentador para CEPIS en función de la calidad del agua que produce en plantas de filtración rápida para consumo humano está dada en la Tabla 6.21.

Eficiencia	Turbiedad del agua sedimentada (UNT)
Excelente	< 5
Muy buena	$5 - 10$
Buena	$10 - 15$
Regular	> 15

Tabla 6.21: Clasificación de la eficiencia de un sedimentador en función de la calidad del agua producida [4].

6.4.1.2. Eficiencia en función del agua cruda

Procedimiento

Se determina la eficiencia de la unidad de sedimentación en función de la calidad del agua cruda mediante la relación de la turbiedad del agua sedimentada en función de la turbiedad del agua cruda.

También se realiza un ajuste lineal de estos datos y se define su ecuación. Mientras menor es la pendiente de la línea de ajuste, menor es la eficiencia del sedimentador.

$$Y = a + bX$$

Donde:

Y : Turbiedad del agua cruda

X : Turbiedad del agua sedimentada

a, b : Constantes

6.4.2. Geometría de la unidad, comportamiento del canal de distribución, velocidad óptima de sedimentación, carga superficial real, características de las zonas de entrada y salida

Se evalúa la geometría, comportamiento del canal de distribución y características de las zonas de entrada y salida para determinar si el sedimentador reúne las condiciones para operar correctamente y se determina la carga superficial real, con el siguiente proceso que evalúa las 3 zonas del sedimentador, de entrada, de sedimentación y de salida, por separado.

6.4.2.1. Zona de entrada

Parámetro óptimo

Las condiciones con las que debe cumplir son:

- La estructura de entrada debe contar con:
 - Compuerta para aislar la unidad
 - Canal longitudinal de distribución uniforme de agua floculada a lo largo del sedimentador.
- En la entrada se debe tener los siguientes gradientes de velocidad para evitar depósitos y posibles rupturas de los flóculos:
 - En la compuerta no debe ser mayor a $20s^{-1}$.
 - En el conducto de paso no debe ser menor de $10s^{-1}$ y no mayor a $20s^{-1}$.

- En los orificios de distribución no mayor a $10s^{-1}$.

Procedimiento

Para comprobar los gradientes de velocidad se utiliza la siguiente ecuación

$$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} * \sqrt{\frac{1}{2g}} * \sqrt{\frac{f}{4Rh}} * v^{1,5}$$

Donde:

G : Gradiente de velocidad

δ : Peso específico del agua

μ : Coeficiente de viscosidad absoluta del agua

f : coeficiente de Darcy Weisbach

Rh : Radio hidráulico

v : Velocidad

A f se le asigna el valor de 0.023 que corresponde al promedio del rango de variación de este parámetro según CEPIS, 0.015 a 0.03; la rugosidad, sección de la conducción, caudal son factores que intervienen para la determinación de este coeficiente.

- La distribución en la salida del caudal por los orificios debe ser uniforme. La siguiente relación corresponde a una distribución pareja.

$$n \frac{Al}{Ac} < 0,46$$

Donde:

n : Número de orificios

Al : Área de un orificio

Ac : Sección del canal de distribución

Los elementos de un sedimentador están indicados en la figura 1.6

6.4.2.2. Zona de sedimentación

Parámetro óptimo

Las condiciones con las que debe cumplir son:

- Los módulos de sedimentación pueden ser:
 - Pantallas planas paralelas, los materiales pueden ser:
 - Asbesto cemento
 - Fibra de vidrio
 - Plástico
 - Lonas de vinilo reforzado
 - Prefabricados de:
 - Plástico

· Fibra de vidrio

- La altura de agua sobre los módulos debe estar entre 0,65 m y 1 m.

Cálculo de parámetros

Tasa de sedimentación

Se calcula la separación normal entre placas, d .

$$d = 0,866d' - e$$

Donde:

d : Separación normal entre placas

d' : separación entre placas en el plano horizontal

e : espesor de pantallas

Se calcula la longitud útil entre placas, lu .

$$lu = l - d' \cos \theta$$

Donde:

lu : longitud útil dentro de las placas

l : longitud de la placa

d' : separación entre placas en el plano horizontal

Se calcula la longitud relativa del módulo, L .

$$L = lu/d$$

Donde:

L : Longitud relativa del módulo

lu : Longitud útil dentro de las placas

d : Separación normal entre placas

Se calcula el factor de forma del módulo, f .

$$f = 0,866(0,866 + 0,5L)$$

Donde:

f : factor de forma del módulo

L : Longitud relativa del módulo

Se calcula la velocidad real de sedimentación entre las placas, V_s

$$V_s = \frac{Q}{A_s f}$$

Donde:

V_s : Velocidad real de sedimentación entre placas

Q : Caudal

A_s : Área del sedimentador cubierta con las pantallas

f : Factor de forma del módulo

La carga superficial es un valor equivalente de la velocidad de sedimentación, es el mismo parámetro expresado con una unidad diferente, $m^3/m^2/d$.

6.4.2.3. Zona de salida

Parámetro óptimo

Las condiciones con las que debe cumplir son:

- Debe abarcar toda el área de la unidad, con canaletas o tubos perforados repartidos de manera uniforme en toda la superficie. En caso de unidades pequeñas también pueden ser vertederos perimetrales.
- El sistema debe estar instalado de 0,65 m a 1 m sobre el módulo de placas.
- Las tuberías perforadas deben tener una carga de agua de alrededor de 0,10 m.
- El número de canaletas o tubos debe ser el adecuado de acuerdo con una tasa de recolección en alrededor de 1.3 l/s.m hasta una máxima de 3 l/s.m. El límite más bajo es adecuado para flóculos de color (débiles y livianos) y para flóculos de turbiedad (grandes y pesados) las tasas aceptables son las cercanas al límite superior.

La tasa de recolección se calcula mediante:

$$q_a = \frac{Q}{L}$$

Donde:

q_a : Tasa de recolección

Q : Caudal

L : Largo total de los tubos de recolección

6.4.3. Resultados

Los resultados de la evaluación del sedimentador, junto con criterios, cálculos utilizados se muestran a continuación.

6.4.3.1. Eficiencia

6.4.3.1.1. Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada

En la tabla 6.22 consta la eficiencia del sedimentador según la turbiedad de muestras tomadas del agua sedimentada. Anexo 2: Reportes de laboratorio.

Fecha	Turbiedad de muestra de agua sedimentada	Eficiencia
	UNT	
14/02/2019	10.8	Buena
28/02/2019	8.36	Muy Buena
18/03/2019	5.97	Muy Buena
05/07/2019	3.55	Excelente

Tabla 6.22: Eficiencia del sedimentador según calidad de agua sedimentada de la PTA de la CTD.

6.4.3.1.2. Eficiencia en función de la calidad del agua cruda

En la tabla 6.23 consta la turbiedad de muestras de agua cruda y sedimentada. Anexo 2: Reportes de laboratorio.

Fecha	Turbiedad de muestra de agua cruda	Turbiedad de muestra de agua sedimentada
	UNT	UNT
14/02/2019	40.8	10.8
28/02/2019	46.5	8.36
18/03/2019	3.75	5.97
05/07/2019	17.2	3.55

Tabla 6.23: Turbiedad de agua cruda y sedimentada de la PTA de la CTD.

En la tabla 6.23 se puede notar como cuando se tomó la muestra de agua cruda de 3.75 UNT se tuvo una turbiedad mayor en la muestra de agua sedimentada, 5.97 UNT, lo que implicaría un problema de la PTA al tratar agua cruda con turbiedad baja, originado talvez en la coagulación, pues podría no estarse dando adsorción por tener un agua demasiado clara, para tratarla se necesitaría de una coagulación por barrido para la formación del flóculo y la planta no está diseñada para este tipo de coagulación. por lo que se estarían formando flóculos livianos y pequeños con los que es difícil la sedimentación. En ocasiones así se debe dar paso directo a los filtros, proceso que no se puede realizar por la carencia de infraestructura en la PTA que lo permita.

El ajuste lineal de la relación entre la turbiedad del agua cruda y agua sedimentada se muestra en la figura 6.8. En esta figura además se muestra el ajuste lineal de la misma realación pero en la simulación realizada por Izquierdo [8] en laboratorio aplicando la dosis óptima de coagulante.

La ecuación que define la tendencia entre la relación de turbiedades es:

$$Y = 0,11X + 4,10$$

Donde:

Y: Turbiedad del agua sedimentada

X: Turbiedad del agua cruda

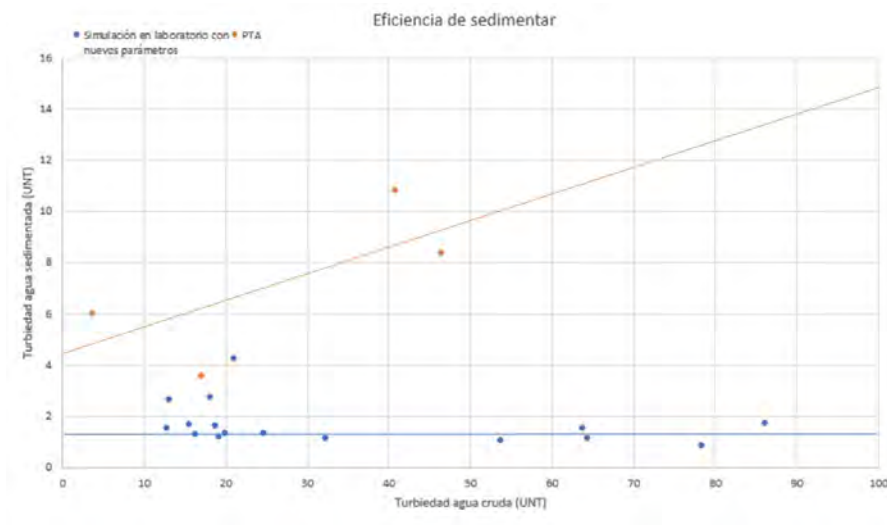


Figura 6.8: Eficiencia sedimentador en función del agua cruda, PTA de la CTD.

Como se puede apreciar la diferencia en turbiedad es considerable entre el agua sedimentada resultante en la PTA actualmente y el agua sedimentada a nivel de laboratorio con la dosis óptima de coagulante.

6.4.3.2. Geometría de la unidad, comportamiento del canal de distribución, carga superficial real, características de las zonas de entrada y salida

Se presenta las condiciones de la PTA de la CTD referentes a los lineamientos que se deben cumplir y su aceptabilidad:

6.4.3.2.1. Zona de entrada

- En la siguiente tabla se muestra la aceptabilidad de las condiciones de composición de la zona de entrada.

Tabla 6.24: Aceptabilidad de condiciones en la zona de entrada.

Condición	Estado	Aceptabilidad
Compuerta para aislar la unidad	No tiene	Incorrecto
Canal longitudinal de distribución uniforme de agua floculada a lo largo del sedimentador	Existe un canal de paso longitudinal de distribución sumergido	Correcto

■ Gradientes de velocidad en la zona de entrada

La zona de entrada carece de compuerta de ingreso, consta de un canal de paso rectangular de 0,42m por 0,38m que distribuye el agua a cuatro tubos de 4 pulgadas de diámetro que desembocan en el fondo de la zona de sedimentación.

Se calculó el gradiente para cada una de estas partes de la zona de entrada.

El resultado de evaluación de este parámetro junto con criterios, cálculos se muestra en la tabla 6.25

Tabla 6.25: Gradiente. Zona de sedimentación.

Elemento	Dato	Ecuación	Cálculo	Resultado	Interpretación de resultado
Conducto de paso	Q=15l/s Dimensiones sección L1 = 0,42m L2 = 0,28m (Anexo A)	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ en función de T (temperatura)	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ en función de T = 16°C (temperatura promedio 2009-2018) con la tabla 6.12	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}} = 2959$	El gradiente no esta en el rango aceptable, al ser menor al recomendado se puede producir depositos indebidos en el conducto
		$Rh = \frac{A}{P} = \frac{(L1)(L2)}{2(L1+L2)}$	$Rh = \frac{(0,42m)(0,38m)}{2(0,42m+0,38m)}$	$Rh = 0,010$	
		$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(L1)(L2)}$	$v = \frac{15l/s}{(0,42m)(0,38m)}$	$v = 0,094m/s$	
		$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} * \sqrt{\frac{1}{2g}} * \sqrt{\frac{f}{4Rh}} * v^{1,5}$	$G = 2959 * \sqrt{\frac{1}{2(9,81m/s^2)}} * \sqrt{\frac{0,023}{4(0,010)}} * (0,094m/s)^{1,5}$	$G = 4,62$	
Orificios	Q=15l/s Dimensiones sección D = 0,4pulgadas n=4 (Anexo A)	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ en función de T (temperatura)	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ en función de T = 16°C (temperatura promedio 2009-2018) con la tabla 6.12	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}} = 2959$	El gradiente esta por encima del rango recomendado. Lo que ocasiona rompimiento de los flóculos
		$Rh = \frac{A}{P} = \frac{n * \pi * (D/2)^2}{n * \pi * D}$	$Rh = \frac{4 * \pi * (4pulgadas/2)^2}{4 * \pi * 4pulgadas}$	$Rh = 0,025$	
		$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{n * \pi * (D/2)^2}$	$v = \frac{15l/s}{4 * \pi * (4pulgadas/2)^2}$	$v = 0,463m/s$	
		$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} * \sqrt{\frac{1}{2g}} * \sqrt{\frac{f}{4Rh}} * v^{1,5}$	$G = 2959 * \sqrt{\frac{1}{2(9,81m/s^2)}} * \sqrt{\frac{0,023}{4(0,025)}} * (0,463m/s)^{1,5}$	$G = 99,98$	

- La condición de distribución en la salida del caudal por los orificios se presenta en la tabla 6.26 junto con criterios, cálculos.

Tabla 6.26: Aceptabilidad de condiciones en la zona de sedimentación.

Dato	Ecuación	Cálculo	Resultado	Interpretación de resultado
Dimensión sección canal L1=0.42m L2=0.38m Dimensión sección orificios D=4 pulgadas n = 4	$Al = \pi * (D/2)^2$	$Al = \pi * (4pulgadas/2)^2$	$Al = 0,032m^2$	La distribución en la salida del caudal por los orificios es uniforme.
	$Ac = L1 * L2$	$Ac = 0,42m * 0,38m$	$Ac = 0,160m^2$	
	$n * \frac{Al}{Ac} < 0,46$	$4 * \frac{0,032m^2}{0,160m^2} < 0,46$	$0,23 < 0,46$	

6.4.3.2.2. Zona de sedimentación

- En la siguiente tabla se muestra la aceptabilidad de las condiciones de la zona de sedimentación referentes a su composición.

Tabla 6.27: Aceptabilidad de condiciones en la zona de sedimentación.

Condición	Estado	Aceptabilidad
Características Pantallas	Planas, paralelas, de asbesto cemento	Correcto
Altura de agua sobre los módulos	0.79 m	Correcto

■ Cálculo de parámetros

Tasa de sedimentación

En la siguiente tabla se muestra los cálculos para hallar la tasa de sedimentación de la unidad, V_s y su equivalente carga superficial, q .

Tabla 6.28: Tasa de sedimentación.

Dato	Criterio	Cálculo	Resultado
$e = 0,01m$ $d' = 0,08m$	$d = 0,866d' - e$	$d = 0,866(0,08m) - 0,01m$	$d = 0,059m$
$l = 1,03m$ $\theta = 60^\circ$	$lu = l - d' \cos \theta$	$lu = 1,03m - 0,08m(\cos 60^\circ)$	$lu = 0,99m$
	$L = lu/d$	$L = 0,99m/0,059m$	$L = 16,70m$
	$f = 0,866(0,866 + 0,5L)$	$f = 0,866(0,866 + 0,5(16,70m))$	$f = 7,98$
$A_s = 10,96m^2$ $Q = 15l/s$	$V_s = \frac{Q}{A_s f}$	$V_s = \frac{15l/s}{10,96m^2}$	$V_s = 0,0171cm/s$
			$q = 14,82m^3/m^2/d$

- Tiempo de retención y características hidráulicas

Esta evaluación consta en el capítulo 5 de este trabajo.

- Velocidad óptima de sedimentación

No se realizó la determinación de parámetros óptimos del proceso, por la finalidad del trabajo, optimizar sistemas existentes, este parámetro implica intervención en la infraestructura de no estarse produciendo el óptimo.

6.4.3.2.3. Zona de salida

- En la siguiente tabla se muestra la aceptabilidad de condiciones de la zona de salida del sedimentador referentes a su composición.

Tabla 6.29: Aceptabilidad de condiciones en la zona de sedimentación.

Condición	Estado	Aceptabilidad
Área de salida	tubos perforados repartidos uniformemente	Correcto
Altura de los tubos recolectores sobre placas	0.60 m	Incorrecto
Carga de agua sobre las tuberías perforadas	0.19 m	Incorrecto

■ Cálculo de tasa de recolección

El resultado de la evaluación de este parámetro, junto con criterios, cálculos, se muestran en la tabla 6.30

Tabla 6.30: Tasa de recolección. Salida del sedimentador.

Dato	Criterio	Cálculo	Resultado	Interpretación de resultado
$Q = 15l/s$ $L = 6,39m$ (Anexo A)	$q_a = \frac{Q}{L}$	$q_a = \frac{15l/s}{6,39}$	$q_a = 2,35l/s.m$	La tasa de recolección está dentro del rango aceptable para flóculos de turbiedad

6.4.3.3. Interpretación de resultados

El sedimentador en general tiene una composición adecuada. No contiene una compuerta para aislamiento. La ubicación de los tubos recolectores de agua sedimentada no es la adecuada, están a un nivel inferior del recomendado, lo que disminuye la eficiencia del sedimentador, pues pasaran más partículas que si estuviera a un nivel mayor.

La carga de agua sobre estos tubos también es inadecuada.

No se cuenta con un sistema que permita pasar el agua cruda directamente a los filtros, procedimiento requerido cuando se tiene agua clara como lo indica CEPIS.

Se puede generar depósitos en el canal de entrada de agua hacia la cámara de sedimentación debido al bajo gradiente que presenta. Contrariamente el gradiente es alto en los orificios de salida de este canal hacia la cámara de sedimentación, lo que en cambio podría producir rompimiento de los flóculos.

El sedimentador con la nueva aplicación de dosis de coagulante óptima se espera tenga una eficiencia mayor.

6.5. Evaluación de los filtros

La filtración remueve partículas suspendidas y coloidales, al ser el proceso final de clarificación en una PTA de filtración rápida, la calidad del agua que produce es coincidente con los estándares requeridos, respecto a este tipo de tratamiento, para el uso.

La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión de las partículas del agua, del medio filtrante, de la hidráulica de la filtración y la calidad del efluente.

La evaluación de los factores comprende:

- Características de la unidad
- Eficiencia del proceso
- Características del proceso de filtración
- Características del medio filtrante
- Características del proceso de lavado

6.5.1. Características de la unidad

El análisis consiste en determinar si la unidad de tratamiento de filtración tiene un correcto diseño.

CEPIS solo especifica la evaluación de filtros de tasa declinante y lavado mutuo en el Manual III que se ha utilizado para esta evaluación. Por lo que esta sección se refiere a los lineamientos dados para filtros a presión en el manual I “Teoría” de CEPIS y otra bibliografía relacionada. Se utiliza algunos parámetros de evaluación del Manual III que son aplicables a filtros a presión. Se ha elegido algunos criterios encontrados.

Características de un filtro a presión

La filtración rápida a presión se realiza en tanques de acero.

Puede ser de flujo ascendente, descendente o ascendente descendente.

Puede estar constituido por lecho filtrante de una o más capas.

La filtración a presión poco difiere de la realizada a gravedad si se tiene similares características del sistema. La tasa de filtración en filtros a presión es mayor pero no necesariamente influye en la calidad del agua filtrada [3].

Requisitos para el lavado

Se debe producir la velocidad ascensional necesaria para expandir el medio filtrante entre 25 % y 30 %.

Las baterías deben estar interconectadas.

Debe existir una forma de compensar las pérdidas durante la operación de lavado.

Se debe poder modificar las condiciones de presión, velocidad, flujo para conseguir la expansión deseada del material filtrante.

Geometría de la unidad

Caja de filtro

La configuración general de un sistema de filtración a presión vertical de flujo ascendente – descendente es la que se muestra en la figura 6.9

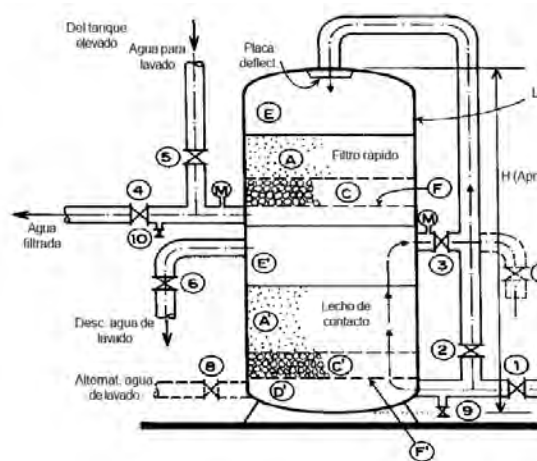


Figura 6.9: Filtro Ascendente Descendente bajo presión vertical.

Se observa como un filtro de presión simple está conformado por el material filtrante de arena, por una capa de soporte de grava, por un sistema de tuberías, equipos de control entre otros elementos que permiten el filtrado y el lavado.

6.5.2. Eficiencia del proceso

Se determina la calidad del agua producida por los filtros.

Parámetros óptimos

La turbiedad del agua debe ser la mejor posible como ya se definió anteriormente, los filtros rápidos pueden llegar a producir un agua con menos de 1 UNT en plantas convencionales.

El agua tratada por la PTA de la CTD debe tener una turbiedad máxima de 10 UNT como se definió en el capítulo 1.

Procedimiento

Se debe determinar la calidad del agua filtrada en base a la turbiedad, definir la frecuencia de la eficiencia de los filtros.

Como en la planta no se realizaban ensayos de caracterización del agua en los procesos de tratamiento, solo existen registros de calidad de agua en el almacenamiento al final del proceso, se realiza la determinación de eficiencia sobre algunas muestras de agua filtrada tomadas en esta evaluación.

6.5.3. Características del proceso de filtración

Los parámetros principales que se evalúan en el proceso de filtración son la velocidad de filtración, la calidad del filtrado inicial y la duración de las carreras de filtración.

6.5.3.1. Determinación de la velocidad y caudal de filtración

Parámetros óptimos

Según autores de GEAMA, Grupo de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente en España, el rango de velocidad de filtración, V_f , de diseño recomendada para filtros rápidos es [11]:

$$40m/h < V_f < 60m/h$$

Para la determinación de estos parámetros se siguió este proceso:

Procedimiento

Cálculo del caudal de filtración

Se determinó el caudal que se bombea a los filtros, pues es el caudal de filtración:

El bombeo hacia los filtros es intermitente, el agua sedimentada es tomada desde el tanque de almacenamiento, la operación de las bombas es automática, se apagan y prenden según el nivel de agua en el tanque, son accionadas mediante un flotador.

Un ciclo de bombeo comprende que las bombas se prendan, bombeen, se apaguen y finaliza inmediatamente antes de que se prendan nuevamente.

Se define el volumen que se bombea por unidad de tiempo (caudal):

Se midió la variación del nivel del tanque de agua sedimentada desde donde se realiza el bombeo, multiplicando este valor por su área se define el volumen que se bombea en un ciclo.

$$V = A \cdot \Delta H$$

Donde:

V: Volumen de agua bombeado en un ciclo

A: Área del tanque de agua sedimentada desde donde se bombea

ΔH : Variación del nivel de agua del tanque de agua sedimentada desde donde se bombea

El volumen que es bombeado en un ciclo para el tiempo de bombeo de un ciclo es el caudal de filtración.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q: Caudal bombeado a los filtros (caudal de filtración)

V: Volumen bombeado a los filtros en un ciclo de filtración

T: Tiempo de bombeo en un ciclo

Cálculo de la velocidad de filtración:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V: Velocidad de filtración

Q: Caudal de filtración

A: Área de los filtros

6.5.3.2. Determinación de la calidad del filtrado inicial

Parámetro óptimo

Después del lavado generalmente la turbiedad del agua filtrada es mayor que en el resto de la carrera. Cuando la turbiedad alta persiste después de los 30 minutos es señal que el proceso de filtración es deficiente. También una turbiedad inicial muy alta indica que faltó tiempo de lavado.

Procedimiento

A partir que se inicia la operación de filtrado se toman muestras cada minuto hasta completar 15 y se determina su turbiedad.

Se grafica turbiedad versus tiempo.

Se determina si la turbiedad alta desaparece hasta los 15 minutos, sino el filtro no está funcionando adecuadamente. Además, si la turbiedad inicial es muy alta faltó tiempo de lavado.

6.5.3.3. Duración de las carreras de filtración

Parámetro óptimo

Las carreras de filtración pueden durar entre 30 a 50 horas más o menos dependiendo de la calidad del agua decantada que ingresa a los filtros.

Procedimiento

Se pide información en la PTA de cuál es la duración de la carrera de filtración.

6.5.4. Características del sistema de lavado

6.5.4.1. Duración del proceso de lavado

Parámetro óptimo

Cuando se hace el lavado de un filtro la turbiedad de agua de lavado aumenta al principio y luego a medida que la arena se va limpiando la turbiedad disminuye, se puede obtener una curva de relación entre turbiedad y tiempo para la evaluación. El tiempo óptimo de lavado es cuando la turbiedad del agua que sale del lavado ya no disminuye considerablemente, es decir ya no es necesario prolongar más el lavado.

Procedimiento

Iniciar el lavado del filtro y apenas empiece a salir el agua de lavado tomar una muestra, tomar luego varias muestras para posteriormente determinar su turbiedad.

Dibujar la curva de turbiedad versus tiempo en escala semilogarítmica.

Determinar en la curva el punto en donde esta empieza a tender a ser asintótica con respecto al eje horizontal. Este es el tiempo óptimo de lavado.

6.5.5. Características del medio filtrante

6.5.5.1. Composición del lecho filtrante. Granulometría del lecho filtrante

Parámetro óptimo

Los parámetros de diseño apropiados para filtros a presión de lecho simple según autores de GEAMA (Grupo de Ingeniería del agua y del Medio Ambiente) en su artículo "Filtración rápida-[11], es la que se muestra en la tabla 6.31

Tabla 6.31: Características recomendadas del medio filtrante [11].

Características	Filtros a presión de lecho simple
Material	Arena Silíceo
Espesor	0,7m – 1,2m
Tamaño efectivo	0,3 – 0,5
Coefficiente de uniformidad	1,5 – 1,8

La determinación del tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad permiten saber si se ha perdido material durante el lavado o si partículas se están adhiriendo a los granos, haciéndolos más grandes, por una mala remoción.

En tanto la granulometría debe ser uniforme.

Procedimiento

No se realizó la apertura de los filtros de presión debido a la negación por parte del operador por el tiempo que toma este procedimiento.

Las dimensiones de las capas dentro de los filtros fueron dadas por el operador.

No se pudo realizar los ensayos dados por CEPIS en lo referente a Granulometría del material filtrante, por tanto además, no se encontró parámetros relacionados, como la determinación del tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad.

6.5.6. Resultados

Los resultados de la evaluación de los parámetros de los filtros, junto con criterios, cálculos, se muestran a continuación.

6.5.6.1. Características de la unidad

El filtro de la planta no es del tipo que ejemplifica CEPIS con su figura 6.9, es un filtro más sencillo, solo de flujo descendente para filtración, pero al igual, debe contener elementos de control como medidores de presión para poder constatar el nivel de colmatación.

En general, a parte de la falta de equipos de control, si son filtros bien concebidos.

Al ser filtros de presión, deben ser herméticos, lo cual no permite controlar algunos aspectos como la expansión de la arena en el proceso de retrolavado, o apreciar el estado del medio filtrante.

6.5.6.2. Eficiencia del proceso

La calidad de agua producida, reflejada en la turbiedad de algunas muestras de agua, consta en la tabla 6.32. Se muestra la turbiedad de agua cruda y filtrada. Los datos corresponden a

las medidas realizadas en laboratorio cuyos informes de resultados constan en el Anexo B.

Tabla 6.32: Turbiedad de agua cruda y sedimentada de la PTA de la CTD.

Turbiedad de muestra de agua cruda	Turbiedad de muestra de agua filtrada
UNT	UNT
40.8	3.82
46.5	3.66
3.75	0.466
17.2	1.27

Se puede apreciar en los datos registrados que el proceso de tratamiento es adecuado según lo reflejado en la reducción de turbiedad. Según estas muestras, la turbiedad del agua producida cumple con el requisito de suministro para el sistema de enfriamiento.

6.5.6.3. Características del proceso de filtración

Para el cálculo de los parámetros que caracterizan el proceso de filtración se siguió este procedimiento:

Se tomaron medidas del tiempo y variación de nivel de agua en el tanque de agua sedimentada de varios ciclos de bombeo. Los datos se muestran en la tabla 6.33

En la primera columna se muestra el evento en el que se medía, en la columna 2, el tiempo tomado, en la columna 3, la variación de tiempo que existe entre los eventos, en la columna 4, el nivel de agua, en la columna 5, la variación de nivel.

Tabla 6.33: Valores de tiempo y nivel de ciclos de bombeo, PTA de la CTD.

Evento	Tiempo, t	Δt	Nivel, H	ΔH
—	s	s	m	m
Bombas se apagan	0''	—	—	—
Bombas se prenden	2'25''	2'25''	—	—
Bombas se apagan	4'36''	2'11''	0,710	—
Bombas se prenden	7'09''	2'33''	0,945	0,235
Bombas se apagan	9'20''	2'11''	0,705	—
Bombas se prenden	11'50''	2'30''	0,940	0,235

Nota. El nivel de agua corresponde a la medida desde el fondo del tanque de agua sedimentada.

Se realizó un promedio para definir el tiempo que se bombea en cada ciclo y el nivel de agua de prendido y apagado de las bombas. En la siguiente tabla se muestra los resultados.

Tabla 6.34: Valores de duración y nivel en el tanque de agua sedimentada un ciclo de bombeo, PTA de la CTD.

Ciclo de bombeo	s
Tiempo de bombeo	2'11"
Tiempo de no bombeo s	2'29"
Tiempo de un ciclo s	4'40"
Nivel máximo del tanque (encendido de bombas)	0,943m
Nivel mínimo del tanque (apagado de bombas)s	0,708m

Entonces, como las bombas son automáticas el nivel máximo y mínimo de agua es el mismo siempre, pero el tiempo de duración de un ciclo de filtración varía dependiendo del caudal de la planta.

Calculo del caudal y velocidad de filtración

En la siguiente tabla se muestran los valores de cálculo y resultado del caudal de filtración.

Tabla 6.35: Caudal de filtración de la PTA de la CTD.

Área del tanque de agua sedimentada, A	m^2	7.12
Diferencia de niveles máximo y mínimo, ΔH	m	0.235
Volumen que es bombeado en un ciclo, V	m^3	1.67
Tiempo de bombeo de un ciclo, T	s	131
Caudal de filtración, Q	l/s	12.8

En la siguiente tabla se muestra los cálculos y resultado correspondiente a la velocidad de filtración.

Tabla 6.36: velocidad de filtración de la PTA de la CTD.

Caudal de filtración, Q	l/s	12.8
Área de los filtros, A	m^2	5.2
Velocidad de filtración, v	$\frac{m/h}{m^3/m^2/dia}$	8.84 — 212

La velocidad de filtración en los filtros de la PTA está por debajo del rango recomendado por GEAMA.

6.5.6.3.1. Determinación de la calidad del filtrado inicial

La gráfica de turbiedad de agua filtrada en relación al tiempo de los primeros 15 minutos de filtración después de un lavado se muestra en la Figura 6.10.

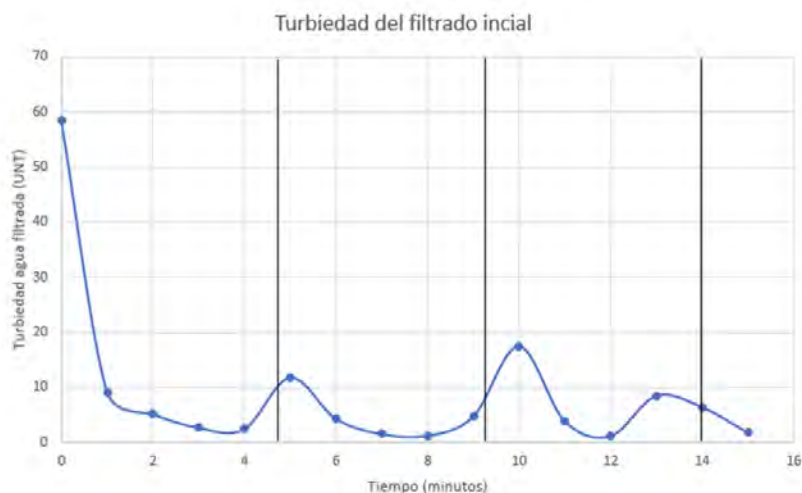


Figura 6.10: Turbiedad de filtrado inicial. PTA de la CTD

Se observa como la primera muestra, es decir justo cuando empieza a salir el agua filtrada después del lavado, tiene una turbiedad más alta que el resto de muestras.

Se tomó una medida de turbiedad del agua filtrada después de los 15 minutos iniciales para comparar calidad. La turbiedad de esta fue de 1.27 UNT.

Las variaciones de turbiedad en la gráfica, a excepción de la primera medida, que es mayormente debida al filtrado inicial, se deben al bombeo intermitente hacia los filtros. A pesar de que no se bombea continuamente, los filtros si arrojan agua todo el tiempo debido a que una cantidad de agua se queda en la caja del filtro y drena por gravedad, produciéndose variaciones en la calidad del agua filtrada. Analizando la gráfica en función del periodo de bombeo, se obtiene una turbiedad mayor al inicio y fin de un ciclo.

La calidad del filtrado es normal después del primer ciclo de bombeo, pues, en este las muestras tiene una turbiedad mayor que el de los dos siguientes que ya tienen turbiedades por debajo de la muestra tomada después de los 15 minutos.

Se considera que la turbiedad alta de la primera muestra es normal después de un retrolavado, pues después del tan solo un minuto la calidad mejora considerablemente.

Por lo tanto, si se aumenta el tiempo de lavado en un lapso óptimo se puede lograr mejor calidad en el filtrado inicial.

6.5.6.3.2. Duración de las carreras de filtración

Las carreras de filtración duran generalmente 24 horas, no se dan carreras mayores. El tiempo varía dependiendo del criterio del operador según la turbiedad del agua que se tenga en la planta.

6.5.6.4. Características del sistema de lavado

6.5.6.4.1. Duración del proceso de lavado

Condición actual

El operador realiza el retrolavado con una duración de 5 minutos, variando el tiempo según su criterio respecto a la turbiedad que haya tenido el agua.

En la siguiente figura se muestra la curva que relaciona la turbiedad del agua de lavado con el tiempo.

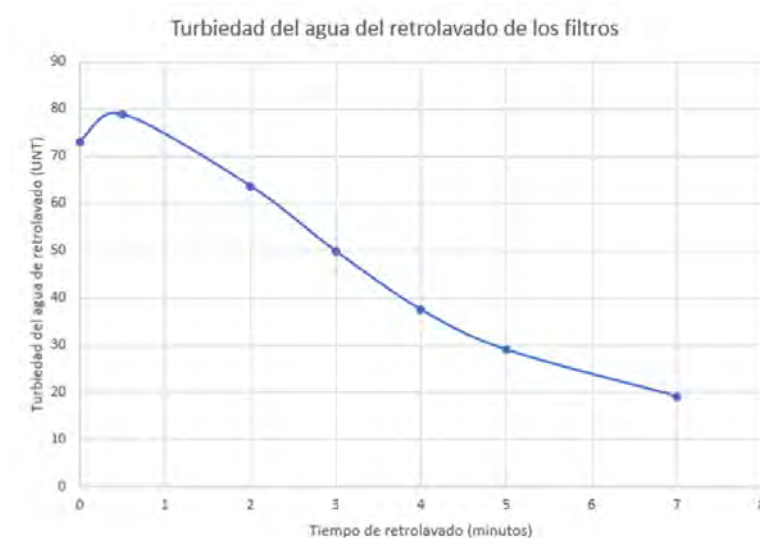


Figura 6.11: Turbiedad del agua de retrolavado.

En la figura 6.11 se puede notar como en los 7 minutos de duración del retrolavado aun no se logra una línea asintótica, pero la curva ya tiene un punto de inflexión a los 5 minutos, por lo que, el retrolavado debería durar por lo menos ese tiempo, según CEPIS [4], no así según Arboleda [2], el tiempo de retrolavado debe ser donde la curva empieza a ser asintótica.

Nota: Los resultados de este ensayo no son generales pues están en función de la cambiante turbiedad del agua.

En cuanto a las características del flujo en el lavado no serían las adecuadas, debido a que a la salida del agua de lavado se encontró material filtrante en una cantidad considerable, es decir, se da pérdida del material, el operador mencionó que es frecuente. Esto, podría ser, debido a un incorrecto diseño de la estructura de soporte del material filtrante, puede la granulometría de la grava no ser la adecuada, considerando que es el único soporte, no existe una rejilla después de la grava. El problema también implica una posible granulometría inadecuada del material filtrante.

El operador también comentó que, cuando se realizó por primera vez la filtración después de colocado el material filtrante en una reparación, se dio salida de material excesiva junto con el agua filtrada.

6.5.6.5. Características del medio filtrante

6.5.6.5.1. Composición del lecho filtrante. Granulometría del lecho filtrante

En la siguiente tabla se muestra la aceptabilidad de las condiciones de la unidad.

Parámetro	Condición	Aceptabilidad
Material	Arena Silícea	Correcto
Espesor	0,4m	Incorrecto

Tabla 6.37: Aceptabilidad de las condiciones de los filtros de la PTA de la CTD [11].

El espesor del material filtrante está por debajo del rango definido por GEAMA para este tipo de filtro.

6.5.6.6. Interpretación de resultados

El operador está prácticamente a ciegas en la operación del filtro. En un filtro a presión con tasa constante, el nivel de colmatación se ve reflejado en la presión que existe en la batería. y no existen medidores en los filtros de la PTA.

Para Arboleda [2] el primer proceso de evaluación es analizar las condiciones en que se desarrolla la filtración, específicamente la precisión de los equipos de control de variables como caudal y pérdida de carga, así como el estado del medio granular, ya que estos son los que proporcionan los datos para poder operar el filtro. Es por esto que, en la PTA de la CTD es urgente su instalación.

El tiempo de lavado actual no es el adecuado, pues no se alcanza una limpieza del filtro correcta, la duración del proceso debe ser hasta alcanzar una turbiedad constante en el agua que sale del lavado, lo cual no se logra con el tiempo actual de lavado de 5 minutos, lamentablemente el ensayo solo se realizó con un lavado de duración de 7 minutos, en base a la operación actual, se consideró que 2 minutos era suficiente margen para que se logre un lavado eficiente, pero aun con 7 minutos no se logra una turbiedad constante en el agua de lavado, por lo que para la operación se sugiere realizar nuevamente este ensayo. A pesar de esto, se define como tiempo de lavado 7 minutos pues, aunque no se logra una turbiedad constante, la turbiedad ya disminuye considerablemente y se cumple con el criterio de CEPIS para un tiempo lavado óptimo, en la curva de turbiedad vs tiempo, ya existe un punto de inflexión. (Según el ensayo realizado, el tiempo del lavado depende de la calidad del agua sedimentada que se tenga).

El espesor del material filtrante que menciona el operador, es muy delgado según el criterio de GEAMA, el espesor se puede aumentar disminuyendo el espesor de la capa de soporte de grava.

Durante la realización de este trabajo un filtro fue cambiado, debido a que había presentado problemas, el agua habría estado saliendo por encima del filtro en varias ocasiones debido a una saturación. Esto pudo deberse a un proceso deficiente lavado, ya sea por la duración o por la periodicidad con la que se realizaba. Otro factor pudo haber sido la condición del material filtrante en relación a factores como una granulometría incorrecta, una acumulación de bolas de lodo, o posibles otros factores.

En relación a las variaciones de calidad que se producen en el agua filtrada, es debida principalmente a la naturaleza misma de los filtros, pues, una parte se filtra a presión y otra a gravedad. En general, se recomienda verificar las condiciones del material filtrante para evitar inconvenientes.

6.6. Evaluación de las instalaciones para desinfección

No se realiza la evaluación completa del proceso de cloración indicada en el manual III de CEPIS, debido al manejo empírico que se da en la actualidad, los parámetros no evaluados son definidos según criterios técnicos.

La desinfección es el último proceso en una planta convencional de tecnología apropiada, es el proceso encargado de asegurar que el agua llegue a su destino con las características microbiológicas requeridas. La mayor parte de remoción de organismos debe ser completada en los procesos anteriores, teniendo a la desinfección solo como asegurador de que se mantenga la calidad alcanzada.

Los factores que intervienen en la eficiencia del proceso de sedimentación son:

- Las características del agua
- Las características del sistema de cloración

La evaluación de los factores comprende:

- Tiempo real de contacto
- Dosis óptima de cloro
- Características del sistema de aplicación
- Características de las instalaciones de cloración
- Grado de contaminación ocasionada por el proceso

6.6.1. Tiempo real de contacto

Parámetro óptimo

El tiempo de retención mínimo requerido, T_{req} , para lograr una desinfección adecuada según las consideraciones realizadas en la inspección general para el agua en la PTA, se toma el mismo que se definió en esta sección.

$$T_{req} = 26min$$

(Inspección general)

El T_{req} determinado está también dentro del rango establecido para inactivación de bacterias según CEPIS (20 minutos - 30 minutos).

El tiempo real de contacto, T debe ser mayor al tiempo de retención mínimo requerido, T_{req} .

Procedimiento

- Determinar el tiempo de retención en las estructuras por donde se conduce el agua clorada antes de llegar a su destino de uso: tuberías y en el tanque de almacenamiento.

Determinación del tiempo de retención en el tanque de almacenamiento

El tiempo de contacto del agua con el cloro se calcula de forma teórica.

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$T = \frac{V_e}{Q}$$

Donde:

T: Tiempo de retención en el tanque de almacenamiento

Ve: Volumen efectivo del tanque de almacenamiento.

Q: Caudal que llega al tanque de almacenamiento desde la PTA

El volumen efectivo está en función de las condiciones de flujo que se presentan, se obtiene multiplicando el volumen total del tanque por los factores indicados en la tabla 4.4 dada por CEPIS.

6.6.2. Dosis óptima de cloro

Se determinan parámetros óptimos de la dosificación de cloro.

6.6.2.1. Determinación de la dosis óptima

Se determina la dosis óptima de cloro que se debe aplicar.

La dosis de cloro aplicada debe ser aquella que deje el residual óptimo para el punto más alejado de la distribución.

La dosis óptima se determina mediante la curva de demanda de cloro. En la que se selecciona la dosis que produce el residual libre requerido.

En este trabajo no se realiza este proceso. La dosis de cloro para la PTA de la CTD se determina que sea la correspondiente “a la práctica usual” según CEPIS, que indica una dosificación por cilindros de cloro gas de 1 mg/L a 3 mg/L.

Por lo tanto, la dosis promedio determinada es 2 mg/L.

Como ya se mencionó anteriormente, se elige un requisito para agua potable a pesar de que se trata de agua industrial, debido a que el solo hecho de que el tratamiento se lo realiza en una planta convencional, al final del proceso de filtración tiene una remoción de microorganismos alta, por lo que, considerar una desinfección menos efectiva implicaría un proceso ineficiente.

Al no desinfectar se puede producir problemas biológicos en los sistemas de la CTD como crecimiento de algas.

Para control de bacterias (algas) que son los microorganismos más fáciles de eliminar en una desinfección, se toma generalmente como referencia la inactivación de *Escherichia coli*, esta en condiciones de PH normales requiere para su inactivación del 99 % un cloro residual libre de 0.1 mg/L en un tiempo de retención de 99 s.

El pH esperado en el agua filtrada está alrededor de 7, no varía el pH del agua cruda considerablemente con la adición del coagulante, así lo indican las simulaciones realizadas por Izquierdo. [8].

Si con la dosis elegida promedio de 2 mg/L se produce cloro residual libre ya se estaría logrando el objetivo pues la cantidad necesaria es mínima, además que en CEPIS se menciona que se dosifica generalmente al “punto de quiebre”, es decir justo la dosis en donde empieza a existir cloro residual libre, pero, no se puede asegurar la presencia de cloro residual libre, lo

que sí se puede asegurar es la formación de cloro residual combinado, que tiene una eficacia “moderada” para la inactivación de bacterias con relación al cloro libre que es “excelente”. Al tener un tiempo de retención de más de 55 veces el requerido, se considera que de todas formas se lograría eliminar las bacterias.

6.6.2.2. Determinación de la dosificación

Se define la forma de dosificación

Dosis

Dosis definida a aplicar 2 mg/L como se definió anteriormente.

Cálculo de cloro gas a aplicar

Se calcula la cantidad que debe de dosificar el equipo de cloración, P, con:

$$P = QxD$$

Donde:

P: Cantidad requerida de desinfectante

Q: Caudal normal de la PTA

D: Dosis óptima de desinfectante

Concentración de solución de cloro

La solución de cloro aplicada debe tener una concentración, C, de 3 500 mg/L según CEPIS.

Para tener esta concentración en la solución se debe cumplir la relación:

$$3500mg/l = \frac{P}{q}$$

Donde:

P: Cantidad requerida de desinfectante [mg/s]

q: Caudal de solución [l/s]

Cloro residual

El cloro residual no se determina mediante ensayos. Pero como se indicó con la dosis aplicada se espera la presencia de cloro residual óptimo de 0.1 mg/l.

6.6.3. Características del sistema de aplicación

Parametro óptimo

El sistema debe tener las siguientes características para una correcta aplicación de cloro:

- Debe aplicarse en forma sumergida
- Debe distribuirse en toda la masa de agua mediante un difusor.
- El difusor debe localizarse en un punto en que el agua esté generando turbulencia.

6.6.4. Características de las instalaciones de cloración

Parametro optimo

Las instalaciones de cloración deben reunir las características para ser seguras ante posibles fugas y permitir una correcta operación.

6.6.4.1. Criterios para evaluar la sala de cloración y el almacén de cilindros de cloro

La sala de cloración y el almacén de cilindros deben tener las siguientes condiciones:

- Ventilación a la altura del piso
- Existencia de amoniaco para detectar fugas y el equipo para repararlas.
- Los operadores deben estar capacitados para reaccionar correctamente ante fugas.
- Facilidad en el traslado de los cilindros mediante carretillas manuales.
- Existencia y estado adecuado de balanza para controlar el peso del cilindro en uso.
- El cilindro de cloro que está en uso no debe encontrarse escarchado o congelado por fuera.

6.6.5. Grado de contaminación ocasionada por el proceso

Parametro óptimo

Se produce contaminación cuando existe presencia de trihalometanos por adición de cloro.

Esta situación se da especialmente cuando se desinfecta agua con color y/o cantidad de materia orgánica abundante como para generar este problema. Sobre todo en precloración.

6.6.6. Resultados

No se realiza la evaluación completa del proceso de cloración indicada en el Manual III de CEPIS, debido al manejo empírico que se da en la actualidad, los parámetros no evaluados son definidos según criterios técnicos.

Proceso actual

En la actualidad se dosifica desinfectante en función del criterio visual del operador.

El cloro es aplicado cuando en los tanques de almacenamiento de agua filtrada hay presencia de algas.

La aplicación la realiza el operador desde que se acaba su turno laboral a las 4 de la tarde hasta que empieza su nuevo turno a las 8 de la mañana del día siguiente.

La dosis que aplica es de 200 gramos por hora de cloro gas generalmente, esta varía según haya más o menos presencia de algas. El dosificador de cloro gas está provisto de un marcador que indica la dosis aplicada.

Lo que se pudo apreciar durante la evaluación es que los tanques de almacenamiento presentaban algas cuando la CTD no estaba en funcionamiento en varias ocasiones, el operador en ocasiones realiza la limpieza mediante una aspiradora manual de agua.

6.6.6.1. Tiempo real de contacto

Parámetro

El tiempo real de contacto debe ser mayor al tiempo de retención mínimo requerido.

Procedimiento de evaluación

Por la condición recirculante de agua entre el tanque de almacenamiento y sistemas de la central, se tiene una especial, pues generalmente en el tratamiento de agua el flujo no vuelve al punto de aplicación de desinfectante.

El caudal procedente de los procesos anteriores de tratamiento llega al tanque de almacenamiento donde se tiene que desinfectar, al usarse en la central este se divide en dos partes, una se pierde en el uso de la central y otra se acumula en el tanque.

Se halla entonces el menor tiempo de retención a la que estará sometida el agua con el desinfectante, pues será el crítico.

Este se da en la masa de agua que inmediatamente después de llegar al tanque sale hacia la central.

No hay perjuicio alguno por tener mayor tiempo de retención que el de diseño, pues lo que se define técnicamente siempre es el mínimo necesario para inactivar los microorganismos que se requieran.

Entonces:

Se considera solo el tiempo en el tanque de almacenamiento despreciando las tuberías que conducen a los equipos para enfriamiento por su corta longitud.

Para el cálculo del volumen efectivo del tanque se eligió, factor = 0.1 de la tabla 4.4 pues el tanque no tiene compartimientos.

Así:

Factor para volumen efectivo= 0,1 Volumen del tanque de almacenamiento= $827m^3$

$$V_e = 0,1 * 827m^3 = 82,7m^3$$

$$T = \frac{82,7m^3}{15l/s}$$
$$T = 91,9minutos$$

El tiempo real de retención es mayor al tiempo mínimo de retención requerido.

Aceptabilidad

Correcto.

En la operación no se realiza la cloración de manera constante. Se debe realizar un estudio más detallado del tiempo de contacto del agua con el cloro debido a que el agua recircula en el sistema de enfriamiento siendo el tanque de almacenamiento parte de esta recirculación, por lo que no se puede aplicar cloro sin considerar este aspecto, pues una sobredosis causa problemas de corrosión, además de que así no se llegue a una cantidad que implique problemas en el sistema de enfriamiento, una sobredosis causa un gasto innecesario.

La dosificación se debe dar solo cuando la planta está produciendo agua tratada, si no se está añadiendo un flujo de agua filtrada que llegue al tanque de almacenamiento no se dan las condiciones de desinfección definidas en este trabajo.

Pues se diseña la dosificación para un flujo no recirculante, lo cual se produce solo cuando se añade agua proveniente de los procesos de tratamiento.

6.6.6.2. Dosis óptima de cloro

Se determinan parámetros óptimos de la dosificación de cloro.

6.6.6.2.1. Determinación de la dosis óptima

La dosis óptima promedio de cloro gas determinada es 2 mg/L.

6.6.6.2.2. Determinación de la dosificación

La dosis optima de cloro que se debe aplicar en la PTA de la CTD es 2mg/l.

Calculo de cloro gas a aplicar

Se calculo la cantidad que debe dosificar el equipo, P:

$$P = 15l/s \times 2mg/l$$

$$P = 30 \text{ mg/s} = 108 \text{ g/h}$$

Es, decir esta es la cantidad que debe marcar el clorador.

La solución de cloro aplicada en la PTA de la CTD debe tener una concentración, C, de 3 500 mg/L.

Conción actual

El caudal de solución, q, se estima en función del diámetro de la tubería y la bomba, se determinó $q = 0.44 \text{ l/s}$

Se determina si la concentración optima se cumpliría

$$3500mg/l \neq \frac{30mg/l}{0,44l/s}$$
$$3500mg/l \neq 68,18mg/l$$

Con el caudal actual de solución no se cumpliría la concentración óptima, se debe disminuir el caudal de solución.

El cloro residual óptimo que debe existir en la recirculación del agua de la CTD es de 0.1 mg/l.

6.6.6.2.3. Parámetros operacionales de almacenamiento

La cantidad que se debe tener almacenada es como lo indica CEPIS es la correspondiente a la necesaria en un mes. La cantidad es menor a la de un cilindro de 68 kg. Mientras que la

cantidad mínima almacenada se define en un cilindro de 68 Kg debido a cualquier eventualidad que pudiera suscitarse, tener un repuesto.

Entonces, la cantidad de cilindros de cloro gas requeridos en la PTA de la CTD se define según la siguiente tabla:

Cloro gas requerido en la PTA de la CTD	
Requerimiento	Cilindros de 68 Kg
Cantidad requerida en un mes	1
Cantidad mínima que se debe tener almacenada	1

Tabla 6.38: Cloro gas requerido en la PTA de la CTD.

6.6.6.3. Características del sistema de aplicación

A continuación, se muestra la aceptabilidad de las características del sistema de aplicación.

■ **Parámetro**

Debe aplicarse en forma sumergida la solución de cloro.

Condicion

Se aplica en forma sumergida.

Aceptabilidad

Correcto.

■ **Parámetro**

Debe distribuirse en toda la masa de agua mediante un difusor.

Condicion

El cloro no es distribuido uniformemente pues solo existe una salida de la solución dosificadora en cada tanque.

Aceptabilidad

Incorrecto.

■ **Parámetro**

El difusor debe localizarse en un punto en que el agua esté generando turbulencia.

Condicion

La solución de cloro llega al tanque de almacenamiento que está en relativa quietud, lo cual no generaría una mezcla adecuada, pues se necesita una turbulencia que mezcle rápidamente el cloro con la masa de agua.

Aceptabilidad

Incorrecto.

6.6.6.4. Características de las instalaciones de cloración

A continuación, se muestra la aceptabilidad de las características de las instalaciones de cloración

- **Parámetro**

Ventilación a la altura del piso.

Condicion

En el caso del lugar donde se encuentran los equipos del sistema de cloración, es un lugar ventilado, tiene grandes ventanas y existen dos entradas, la una no tiene ningún tipo de puerta, y la otra con una puerta con malla. Se desconoce donde se realiza el almacenamiento, se recomienda que se realice en este mismo sitio.

Aceptabilidad

Correcto.

- **Parámetro**

Existencia de amoniaco para detectar fugas y el equipo para repararlas.

Condición

Se desconoce si existe un sistema con amoniaco referente a fugas. Pero si existe un plan de emergencia.

Aceptabilidad

Correcto.

- **Parámetro**

Los operadores deben estar capacitados para reaccionar correctamente ante fugas.

Condición

Existen instrucciones visibles para reaccionar ante emergencias, los operadores si están capacitados.

Aceptabilidad

Correcto.

- **Parámetro**

Facilidad en el traslado de los cilindros mediante carretillas manuales.

Condición

No existen impedimentos para el traslado mediante carretillas de cilindros en su recepción y en la operación.

Aceptabilidad

Correcto.

■ Parámetro

Existencia y estado adecuado de balanza para controlar el peso del cilindro en uso.

Condición

No existe una balanza.

Aceptabilidad

Incorrecto.

■ Parámetro

El cilindro de cloro que está en uso no debe encontrarse escarchado o congelado por fuera.

Condición

El cilindro se encuentra en buenas condiciones

Aceptabilidad

Correcto.

6.6.6.5. Grado de contaminación ocasionada por el proceso

No se realizó la determinación de la existencia de trihalometanos. Pero se puede suponer que no se da contaminación de trihalometanos debido a que el agua es desinfectada después del proceso de clarificación. no se puede asegurar tampoco esta situación debido al color visible que se presenta en ocasiones en el almacenamiento.

6.6.6.6. Interpretacionde resultados

La falta de un instrumento de medición de caudal no permite regular el caudal de solución de cloro y conseguir la concentración óptima.

Se debe colocar difusores que distribuyan el cloro en los tanques de almacenamiento, aunque la mezcla aun no sería la óptima, pues se necesita una turbulencia que mezcle rápidamente el cloro con la masa de agua, lo recomendable es diseñar un sistema con condiciones de mezcla adecuadas.

Si bien existen planes de emergencia, se considera que los operadores no reciben capacitaciones frecuentes.

Se considera que se debe revisar los planes de emergencia y aumentar la capacitación a los operadores, implementar evaluaciones habituales.

Para realizar el almacenamiento de cilindros de cloro en el mismo sitio donde se encuentran los equipos del sistema de cloración, se debe implementar todo lo requerido para este fin como mecanismos de sujeción, no se puede almacenar ningún otro tipo de material.

En general para llevar cabo la operación de las unidades se necesita conocer la turbiedad del agua, por lo que, se debe adquirir un nefelómetro para ser utilizado por el operador.

Como el crecimiento de algas se incentiva por la exposición al sol. Se recomienda tapar los tanques de almacenamiento.

6.7. Medición de caudal

En la PTA no existía un medidor de caudal hasta esta evaluación, se instaló uno para poder llevar a cabo la evaluación y para su posible utilización en la operación.

Se decidió medir el caudal con el vertedero para mezcla rápida, este genera un nivel de agua en el canal que le antecede relacionado con el caudal, para la medición del nivel se instaló una regleta.

Procedimiento de instalación de medición de caudal

- Se colocó en el canal que parte de la recepción, a una distancia de 1 metro antes del vertedero de mezcla rápida (debido a que a una distancia menor se produce disminución de la altura), una regleta de 20 cm, de forma vertical, con su cero al nivel de la cresta del vertedero (se fijó la regleta con silicón).
- Se midió el caudal mediante aforo directo volumétrico, es decir, se midió el tiempo de llenado de un recipiente (se utilizó uno de capacidad de 50 litros), con el caudal que ingresa a la planta:
 - Se fabricó una estructura en lata para ser colocada en el vertedero de mezcla rápida con el fin de redirigir el caudal para el llenado del recipiente (figura 6.12).
 - Se colocó la estructura y se selló con silicón para evitar fugas.
 - Se realizó el llenado y el registro de su tiempo en segundos, así como la capacidad exacta del recipiente.
- Se desmontó toda estructura colocada para redirigir el caudal. Se registró el nivel de agua sobre la cresta del vertedero que marca la regleta.
- Se repitió el llenado tres veces, es decir, se registra tres tiempos y se realiza un promedio.
- Con el tiempo y la capacidad medidos se calculó el caudal así:

$$Q = \frac{t}{V}$$

Donde:

Q : Caudal que entra a la planta (l/s)

t : Tiempo de llenado del recipiente (s)

V : Capacidad del recipiente (l)

- Se calculó “ m ”, el parámetro específico para la ecuación de caudal-altura general en vertederos.

$$m = \frac{Q}{LH\sqrt{2gH}}$$

Donde:

Q : Caudal que entra a la planta (el calculado con los datos obtenidos con el llenado del recipiente) (l/s)

L : Ancho del canal (41 cm) (cm)

H : Nivel de agua sobre la cresta del vertedero medido mediante la regleta (cm)

- La ecuación para el cálculo del caudal con relación al nivel de agua antes del vertedero de mezcla rápida es:

$$Q = mLH\sqrt{2gH}$$

Donde:

Q : Caudal que entra a la planta (l/s)

m : Parámetro específico para ecuación de aforo de caudal con vertederos. (el calculado en este procedimiento)

H : Nivel de agua que marca la regleta (cm)

En la siguiente tabla se muestra los datos registrados y los cálculos para determinar el factor m de la ecuación de relación caudal altura.

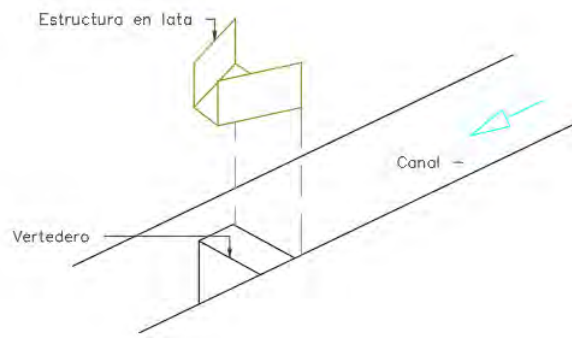


Figura 6.12: Esquema de mecanismo para redirigir el caudal para aforar. PTA de la CTD.

6.7.1. Resultados

Los valores registrados y los cálculos para la determinación de la ecuación de relación altura-caudal, se muestran en la siguiente tabla.

Volumen del recipiente (m^3)	
0.05	
Tiempo de llenado del recipiente (s)	
t1	5.64
t2	5.7
t2	5.5
Promedio t	5.61
Caudal (m^3/s)	
0.00944	
Ancho del canal (m)	
0.41	
Nivel de agua que marca la regleta (m)	
0.063	
Parámetro específico para ecuación de aforo de caudal con vertederos	
0.329	

Tabla 6.39: Datos registrados y los cálculos para determinar el factor m de la ecuación de relación caudal.

Con m y reemplazando constantes la ecuación para el cálculo del caudal con relación al nivel de agua antes del vertedero de mezcla rápida es:

$$Q = 0,597 * H * \sqrt{H}$$

Donde:

Q : Caudal que entra a la planta (l/s)

H : Nivel de agua que marca la regleta (cm)

La tabla y el gráfico de caudal vs nivel de agua que marca la regleta que se muestran a continuación fueron realizados con esta ecuación.

Tabla 6.40: Relación caudal que entra a la PTA con nivel que marca regleta antes del vertedero, PTA de la CTD.

Altura H	Caudal Q
cm	l/s
0.2	0.053
0.6	0.227
1.0	0.597
1.4	0.989
1.8	1.442
2.2	1.948
2.6	2.503
3.0	3.102
3.4	3.743
3.8	4.442
4.2	5.139
4.6	5.890
5.0	6.675
5.4	7.491
5.8	8.339
6.2	9.216
6.6	10.123
7.0	11.057
7.4	12.018
7.8	13.005
8.2	14.018
8.6	15.056
9.0	16.119
9.4	17.205
9.8	18.315
10.2	19.448
10.6	20.603
11.0	21.780



Figura 6.13: Relación caudal que entra a la PTA con nivel que marca regleta antes del vertedero, PTA de la CTD.

6.8. Calidad de agua tratada esperada

La calidad del agua tratada esperada por la P.T.A. se define en base a simulaciones de laboratorio y registros históricos.

Simulaciones de laboratorio

Izquierdo en su T.T. realizó simulaciones con la dosis óptima de coagulante, obtuvo turbiedad, color y pH de agua sedimentada en laboratorio, para muestras con diferentes turbiedades de agua cruda.

Registros históricos

Se dispone del registro histórico del “ Plan de manejo ambiental. Plan de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua 2009-2018.” en el que constan registros de características del agua de la fuente, importante pues algunas características como la temperatura no cambian significativamente con el tratamiento permitiendo predecir las características del agua que producirá la PTA en base a promedios de este registro histórico.

6.8.1. Características físicas

6.8.1.1. Temperatura

La temperatura esperada en el agua tratada por la PTA, es la misma que se registra en la fuente, pues con excepción de los tanques de almacenamiento en los que puede verse afectada la temperatura, la situación en general indica que la temperatura no cambia con el tratamiento.

Así:

Temperatura esperada de agua tratada por la PTA es igual a la temperatura promedio del registro histórico, que tampoco varía considerablemente.

Parámetro	Unidad	Cantidad
Temperatura esperada de agua tratada por la PTA	°C	16

Tabla 6.41: Temperatura esperada del agua tratada por la PTA de la CTD.

6.8.1.2. Turbiedad

Las simulaciones de laboratorio indican una turbiedad de agua sedimentada menor a 5 UNT en pruebas con agua cruda de una turbiedad de hasta 800 UNT. Lo cual indica la gran eficiencia del proceso.

En la figura se puede observar los datos de simulación en laboratorio.

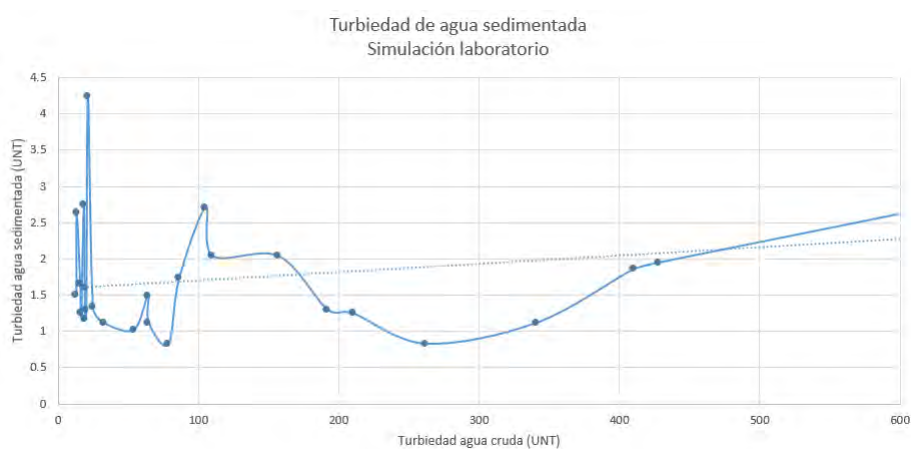


Figura 6.14: Turbiedad de agua sedimentada en relación al agua cruda. Simulación de laboratorio [8].

La turbiedad del agua tratada por la PTA es una menor a 5 UNT. Pues si bien es una simulación en laboratorio que podría implicar mejores resultados que los que se obtengan en la PTA, también hay que notar que no se toma en cuenta el proceso de filtrado.

6.8.2. Características químicas

6.8.2.1. pH

El pH se registró en cada una de las pruebas de laboratorio después de aplicado el coagulante, única causa para que se afecte este parámetro. En la siguiente tabla se muestra el pH del agua cruda y el posterior del agua sedimentada, de los ensayos de laboratorio.

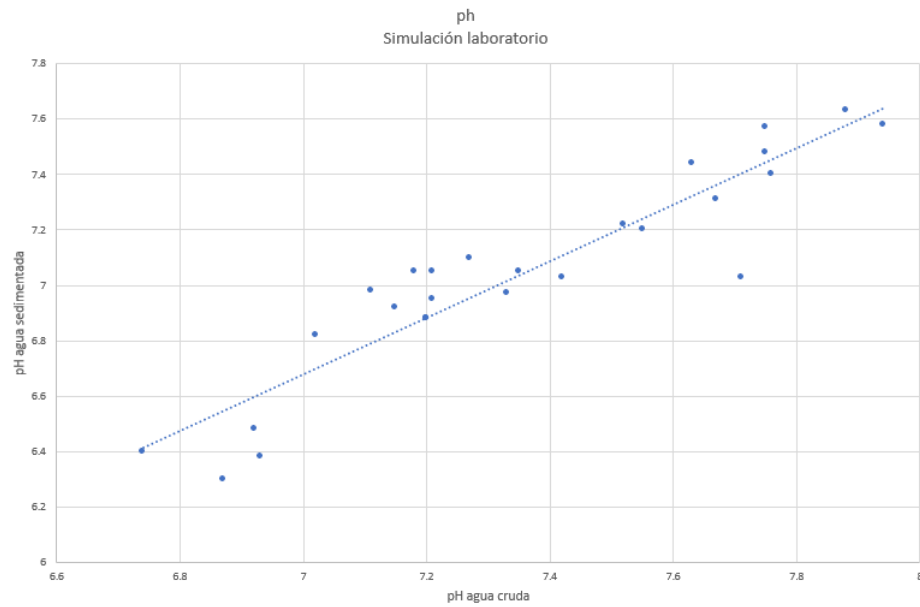


Figura 6.15: pH de agua sedimentada en relación al agua cruda. Simulación de laboratorio [8].

6.8.3. Determinaciones adicionales

La planta no cuenta con unidades alternas en los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, y desinfección. Siendo la excepción la presencia de dos filtros con capacidad conjunta de tratar un caudal mayor al caudal pico, se ha presentado situaciones en los que se ha operado con uno solo.

Manual de operación, mantenimiento y control de calidad

7.1. Introducción

La elaboración del manual de operación, mantenimiento y control de calidad para la PTA tiene como finalidad la regulación de procedimientos, un funcionamiento óptimo del proceso de tratamiento para obtener el agua con las especificaciones requeridas.

7.2. Metodología de elaboración del manual de operación, mantenimiento y control de calidad de la PTA de la CTD

La elaboración del manual sigue conceptos de operación, mantenimiento y control de calidad definidos especialmente por CEPIS.

Los parámetros óptimos de tratamiento determinados en la evaluación definen las actividades del manual.

Los procedimientos son elaborados con referencia a documentos relacionados a la operación, mantenimiento y control de calidad, principalmente los definidos por CEPIS para este fin y el conocimiento de las actuales actividades que se realizan en la PTA, estos pasan por un proceso de análisis para su implantación, mejora o sustitución.

Los documentos principales seguidos se tratan de ejemplares y guías de elaboración de manuales:

- CEPIS/OPS. Manual IV Operación, mantenimiento y control de calidad. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. 2005. Lima.
En este documento se trata formas correctas de operación, mantenimiento y control de calidad. Se presentan los procedimientos específicos para cada unidad de tratamiento de plantas convencionales, de “tecnología apropiada” y de “tecnología importada”.
- Care Internacional-Avina. Fortalecimiento de capacidades de Organizaciones comunitarias prestadoras de servicios de agua y saneamiento (OCSAS) en América Latina Modulo 5. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Quito. 2012.

Es el resultado de un proceso de compilación de propuestas y experiencias de capacitación impulsado por Care y Advina en nuestra región, constan de procedimientos de operación y mantenimiento para el funcionamiento de sistemas de agua.

- Secretaría de relaciones exteriores de México. Guía técnica para la elaboración de manuales de procedimientos. México.

Presenta una guía para la elaboración de procedimientos para esta entidad. Constan las partes de un procedimiento, definido el lineamiento de cada elemento.

Además, se utilizó una serie de documentos e imágenes de varias fuentes que constan en bibliografía.

7.3. Formato del manual

El manual está dividido en tres partes: operación, mantenimiento y control de calidad del agua.

- **Operación**

- Puesta en marcha de la PTA
- Parada de la PTA
- Tratamiento de agua
 - Medición de caudal
 - Coagulación
 - Floculación
 - Sedimentación
 - Filtración
 - Desinfección
 - Otros elementos
- Emergencia

- **Mantenimiento**

- **Control de calidad de agua**

La operación, mantenimiento y control de calidad de la P.T.A. está definida por procedimientos con una o más actividades, cada actividad contiene una frecuencia de ejecución. Cada caso contiene procedimientos, si es aplicable, de puesta en marcha, de operación normal, de operación eventual y parada. En algunos procedimientos de operación constan actividades de mantenimiento que están interrelacionadas. Los procedimientos en general son definidos para condiciones normales, es decir cuando las condiciones de entrada son aceptables y la CTD está operando en forma continua, a partir de ahí, se describen acciones ante eventualidades. Al final de algunos procedimientos se consideró necesario mostrar aclaraciones sobre la razón de realizar una o más actividades. Una parte de este manual son elementos de este trabajo de titulación:

- Marco Teórico
- Descripción del Proceso de Tratamiento de Agua de la P.T.A. de la C.T.D.

- Requerimiento de la calidad de agua de la C.T.D.
- Evaluación del Sistema de Tratamiento de Agua de la P.T.A. de la C.T.D.
- Planos de la P.T.A de la C.T.D
- Estos documentos forman parte de este manual como anexos.

El manual contiene elementos para facilitar el uso a los operadores como:

- Fichas de registro.
- Gráficas
- Tablas

7.4. Resultado

Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central Termoeléctrica El Descanso.



Universidad de Cuenca



Empresa Electro Generadora del Austro
ELECAUSTRO S.A.

Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central Termoeléctrica El Descanso

Elaboración:

Trabajo de titulación

Ingeniería Civil

Universidad de Cuenca

David Andrés Quintuña Rodríguez

Tabla de contenido

Introducción.....	5
Presentación	5
Alcance.....	5
Objetivo.....	5
Contenido.....	5
Procedimientos de operación	8
Procedimientos para la puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Agua	9
Inspección preliminar para la puesta en marcha de la PTA P01.....	10
Operación inicial para la puesta en marcha de la PTA P02.....	13
Puesta en marcha de la PTA: Llenado de la PTA P03.....	16
Procedimiento para la parada de la Planta de Tratamiento de Agua.....	20
Parada de la PTA P04	21
Procedimientos. Tratamiento de agua	23
Procedimientos. Medidor de caudal.....	24
Medición de caudal P05.....	25
Calibración de medición de caudal P06	27
Procedimientos. Sustancias químicas	31
Manejo de sustancias químicas P07	32
Procedimientos. Instalaciones de coagulación.....	35
Procedimientos. Dosificación de sustancias químicas.....	36
Instalaciones de coagulación. Dosificación de sustancias químicas. Puesta en marcha P08	37
Instalaciones de coagulación. Dosificación de sustancias químicas. Operación normal P09.....	40
Instalaciones de coagulación. Dosificación de sustancias químicas. Operación de parada P10	44
Calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante P11.....	45
Procedimientos. Mezclador: Vertedero.....	47
Mezclador: Vertedero. Operación normal P12.....	48
Procedimientos. Floculador	49
Floculador. Operación normal P13	50
Procedimientos. Sedimentador	51
Sedimentador. Operación normal P14	52
Procedimientos. Filtros	54

Filtros. Operación normal P15	55
Retrolavado de filtros	56
Retrolavado de filtros P16	56
Procedimientos. Instalaciones de desinfección	58
Manejo de sustancias químicas	58
Dosificación de sustancias químicas	58
Instalaciones de desinfección. Dosificación de sustancias químicas. Puesta en marcha P17	59
Instalaciones de desinfección	61
Operación normal	61
Instalaciones de desinfección. Dosificación de sustancias químicas. Operación normal P18.....	61
Instalaciones de desinfección	62
Operación de parada	62
Instalaciones de desinfección. Dosificación de sustancias químicas. Operación de parada P19 ...	62
Procedimientos. Emergencia	63
Operaciones de emergencia	64
Operaciones de Emergencia P20	64
Procedimientos de Mantenimiento	65
Tanques de solución de coagulante P21.....	66
Floculador P22	69
Sedimentador P23.....	73
Filtros	75
Filtros P24	75
Tanques de agua: cruda, sedimentada, filtrada y los tanques de almacenamiento agua tratada P25	77
Tanques, canales y demás instalaciones de la PTA P26.....	80
Estación de bombeo	82
Estación de bombeo P27	82
Válvulas	84
Válvulas P28	84
Bombas	89
Bombas P29	89
Tuberías.....	93
Tuberías P30.....	93

Rejillas P31	95
Instalaciones en general P32	96
Procedimientos de control de calidad	98
Toma de muestra de agua y determinación su turbiedad P33.....	99
Abreviaturas y símbolos.....	103
Fichas de registro	105

Introducción

Presentación

Este manual se ha realizado con el fin de contar con un documento que contenga las actividades necesarias para el funcionamiento de la PTA de la CTD definidas técnicamente, debido al manejo empírico que se tenía. Con este manual se pretende garantizar una producción de agua con la calidad adecuada mediante un funcionamiento óptimo de la PTA.

Nace como un pedido de la dirección de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de ELECASUTRO S.A., responsable del manejo de la PTA, su elaboración se realiza como un trabajo de titulación de la Universidad de Cuenca, en el marco del convenio que ELEAUSTRO S.A. tiene con esta institución académica.

En este manual están definidas las actividades de operación, mantenimiento y control de calidad, para que cualquier operador con una preparación similar a la que tienen los actuales, pueda manejar la planta.

Alcance

Este manual es para uso de personas que vayan a realizar la operación, mantenimiento y control de la calidad de agua de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central Termoeléctrica El Descanso. El seguimiento de las actividades de este manual permite el manejo en condiciones normales, así como en eventualidades en la PTA. Las actividades siempre deben estar monitoreadas por el personal encargado de la empresa.

Objetivo

Ser una guía para la ejecución del proceso de tratamiento de clarificación y desinfección de agua para uso de la Central Termoeléctrica El Descanso mediante el seguimiento de procedimientos determinados con criterios técnicos. Se pretende la obtención de agua de calidad según el fin para el cual se diseñó la P.T.A. de la C.T.D., mediante su funcionamiento óptimo.

Contenido

El manual está dividido en tres partes: operación, mantenimiento y control de calidad del agua.

- Operación
 - Puesta en marcha de la PTA
 - Parada de la PTA
 - Tratamiento de agua

Cada caso siguiente contiene un procedimiento, si es aplicable, de puesta en marcha, de operación normal, de operación eventual y parada.

 - Medición de caudal
 - Coagulación
 - Floculación
 - Sedimentación
 - Filtración
 - Desinfección
 - Otros elementos

- Emergencia
- Mantenimiento
- Control de calidad de agua

La operación, mantenimiento y control de calidad de la P.T.A. está definida por procedimientos con una o más actividades, la frecuencia en algunos casos está definida por actividad.

En algunos procedimientos de operación constan actividades de mantenimiento que están interrelacionadas y viceversa.

Además, este manual contiene una sección de requerimientos previos a la operación, mantenimiento y control de calidad.

Una parte de este manual comprende elementos del trabajo de titulación: “Elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de agua industrial de la central termoeléctrica El Descanso de la empresa Electro Generadora del Austro S.A.” del que es producto. En el T.T. se encuentra:

- Marco Teórico
- Descripción del Proceso de Tratamiento de Agua de la P.T.A. de la C.T.D.
- Requerimiento de la calidad de agua de la C.T.D.
- Evaluación del Sistema de Tratamiento de Agua de la P.T.A. de la C.T.D.
- Planos de la P.T.A de la C.T.D

Estos documentos forman parte de este manual como anexos.

Organización de procedimientos

Procedimientos

Operación

Puesta en marcha de la PTA

- P01 Inspección preliminar
- P02 Operación inicial
- P03 Llenado

Parada de la PTA

- P04 Parada

Tratamiento de agua

Medidor de caudal

- P05 Medición de caudal
- P06 Calibración de medición de caudal

Sustancias químicas

- P07 Manejo de sustancias químicas

Instalaciones de coagulación

Dosificación de sustancias químicas

- P08 Puesta en marcha
- P09 Operación normal
- P10 Parada
- P11 Calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulatne

Vertedero

- P12 Operación normal

Floculador

- P13 Operación normal

Sedimentador

- P14 Operación normal

Filtros

- P15 Operación normal
- P16 Retrolavado

Instalaciones de desinfección

Dosificación de sustancias químicas

- P17 Puesta en marcha
- P18 Operación normal
- P19 Parada

Emergencia

- P20 Operaciones de emergencia

Mantenimiento

- P21 Tanques de solución de coagulante
- P22 Floculador
- P23 Sedimentador
- P24 Filtros
- P25 Tanques de agua: cruda, sedimentada, filtrada y los tanques de almacenamiento
- P26 Tanques, canales y demás instalaciones de la PTA
- P27 Estación de bombeo
- P28 Válvulas
- P29 Bombas
- P30 Tuberías
- P31 Rejillas
- P32 Instalaciones en general

Control de calidad

- P33 Toma de muestra de agua y determinación su turbiedad

Procedimientos de operación

Procedimientos para la puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Agua

Introducción

La puesta en marcha implica el correcto estado de todos los elementos de la PTA para el funcionamiento y su puesta en marcha.

Se realiza tres procedimientos sucesivos en la puesta en marcha de la PTA: inspección preliminar, operación inicial y llenado de la PTA.

Manejo de la puesta en marcha de la PTA

Aun cuando la CTD opera de forma continua el funcionamiento de la PTA no es permanente.

La planta se debe parar por dos razones:

- Operación y mantenimiento de las unidades
- Almacenamiento de agua en su máximo: El funcionamiento de la PTA está ligado al requerimiento de agua de la CTD, debido a esto, se debe parar cuando el almacenamiento alcanza su máximo.

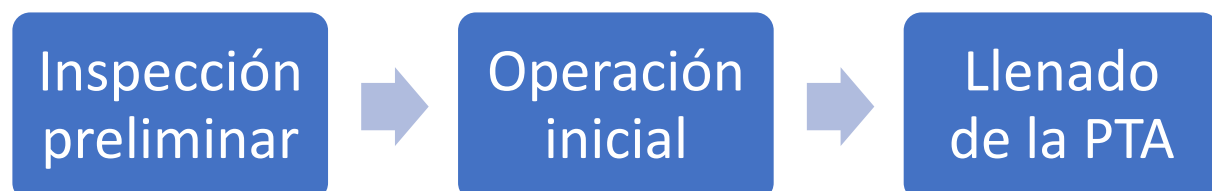
La planta debe ponerse en marcha:


- Cuando se alcanza el almacenamiento mínimo, es decir la cantidad necesaria para el sistema contra incendios y una reserva por seguridad para el funcionamiento de la CTD.

Tabla 1 Cronograma de funcionamiento de la PTA de la CTD en condiciones normales

	Ocasión
Poner en Marcha la PTA	Nivel del tanque de almacenamiento N1 debajo de 133 cm
Parar la PTA	Necesaria operación o mantenimiento en la PTA
	Nivel del tanque de almacenamiento N1 máximo (200 cm)

Organización de procedimientos



	Procedimiento	Código: P01
	Inspección preliminar para la puesta en marcha de la PTA	Fecha: 07/08/2019



Inspección preliminar para la puesta en marcha de la PTA P01

Objetivo

Tener lo necesario para el funcionamiento de la PTA, buen estado las instalaciones de la PTA.

Actividades

Realice las siguientes verificaciones del estado de las instalaciones, en caso de que no logre una verificación corrija el problema antes de continuar con la puesta en marcha de la PTA.

- a) Verifique de forma visual que no exista daños en las instalaciones: Buen estado físico, no existencia de fugas y ubicación correcta de los elementos.
- b) Revise que las siguientes operaciones de mantenimiento estén realizadas conforme a su frecuencia.
 - Válvulas. Procedimiento P28.
 - Bombas. Procedimiento P29.
 - Tuberías. Procedimiento P30.
- c) Verifique que exista sustancias químicas en esta cantidad:
 - Sulfato de aluminio: mínimo 500 kg. 20 bolsas de 25 Kg.
 - Cloro: mínimo 68 kg. 1 cilindro.
- d) Verifique que se cuente con los siguientes requerimientos previos a la operación, mantenimiento y puesta en marcha de la PTA.
 - Personal de la PTA
El personal requerido es el dispuesto para la estructura orgánica de ELECAUSTRO S.A
Personal para utilización directa de este manual:
Ingeniero Civil del Departamento de Obras Civiles
Supervisor de la CTD
Operador Sistema de Aguas

Albañiles. Serán ayudantes del operador del sistema de aguas para los procedimientos que lo requieran.

- Documentación

La documentación que siempre deben estar disponible es la relacionada con la PTA de la CTD.

Manuales de NIGGATA de la CTD

Normativa de ELECAUSTRO S.A

Trabajo de Titulación “Elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de agua industrial de la Central Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del Austro S.A.”

Libro “CEPIS/OPS. Plantas de filtración rápida. Tratamiento de agua para consumo humano. 2005. Lima”

Formularios para Operación, mantenimiento y control e calidad de este manual

- Equipos de trabajo y seguridad

Es necesario que se cuente con lo básico para la operación, mantenimiento y control de calidad de la PTA, así como el equipo de protección personal necesario para realizar las funciones en condiciones seguras.

Materiales y equipos

Equipos propios del funcionamiento de la PTA

Materiales y equipos de limpieza

Trapo

Escoba

Balde

Cepillos

Detergente

Pintura

Equipo de Protección personal

Cascos de seguridad

Botas

Guantes de goma

Guantes de cuero

Overol industrial

Mascara contra el polvo

Protector de ojos

Protector de piel

Respirador de oxigeno

Herramientas

Carretilla

Pala

Caja de herramientas menores: Martillo, clavos, llaves, tornillos, arandelas, tijeras de acero.

Manguera

Brochas

Cepillos de acero

Flexómetro

Termómetro

Cronómetro

Calculadora

Materiales y equipos de laboratorio

Frascos para toma de muestras

Turbidímetro y accesorios


Probeta

Se pueden necesitar otros materiales en los procedimientos de este manual

Utilice Ficha RP01P02

Frecuencia procedimiento. Cada vez de puesta en marcha.

Materiales	Ficha RP01RP02. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

	Procedimiento	Código: P02
	Operación inicial para la puesta en marcha de la PTA	Fecha: 07/08/2019



Operación inicial para la puesta en marcha de la PTA P02

Objetivo

Disponer las instalaciones para el funcionamiento de la PTA.

Parámetros óptimos

Tabla 2 Turbiedad máxima de agua cruda. PTA de la CTD

Turbiedad máxima de agua cruda	UNT	835
--------------------------------	-----	-----

Actividades

- a) Realice una limpieza general de las instalaciones: Barra, retire polvo, retire maleza.
- b) Verifique que las instalaciones estén libres de escombros y sustancias que impliquen peligro de contaminación en la planta sino retirarlos.
- c) Revise que las siguientes operaciones de mantenimiento estén realizadas conforme a su frecuencia. De no ser así, realice los procedimientos de mantenimiento correspondientes.
 - Estación de bombeo. Procedimiento P27.
 - Tanques de agua: cruda, sedimentada, filtrada y los tanques de almacenamiento agua tratada. Procedimiento P25.
 - Rejillas. Procedimiento P31.
 - Tanques, canales y demás instalaciones de la PTA. Procedimiento P26.
 - Tanques de solución de coagulante. Procedimiento P21.
 - Floculador. Procedimiento P22.
 - Sedimentador. Procedimiento P23.
 - Filtros. Procedimiento P24

- d) Realice la calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante según proceso P11.
- e) Prepare la solución de coagulante según proceso P08 en caso de ser necesario. Ninguno de los dos tanques debe estar vacío.
- f) Realice retrolavado de filtros según proceso P16.
- g) Prenda las bombas de los filtros en modo automático (bomba F1 y bomba F2) mediante sus botones de la caja de control (botón “Bomba de abastecimiento agua piscina filtro #1” y botón “Bomba de abastecimiento agua piscina filtro #1”).
- h) Ponga en marcha la dosificación de cloro según proceso P17.
- i) Si el nivel de agua en el tanque de la estación de bombeo es inferior 50 cm por debajo del piso o el tanque está vacío, llénelo:
 - Abra la válvula de paso de la conducción, válvula VP1, permitiendo el paso del agua cruda hacia la estación de bombeo y cerrar la válvula de desagüe, válvula VD1 de la conducción.
 - Cierre la válvula de desagüe de la conducción, válvula VD1.
 - Cierre la válvula de paso, válvula VP1, cuando el nivel de agua esté a 50 cm por debajo del piso de la estación de bombeo. Utilice un flexómetro para medir el nivel de agua.
 - Abra la válvula de desagüe de la conducción VD1.

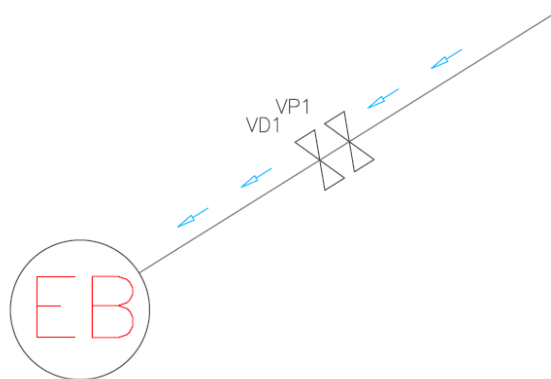


Figura 1 Esquema para actividad i

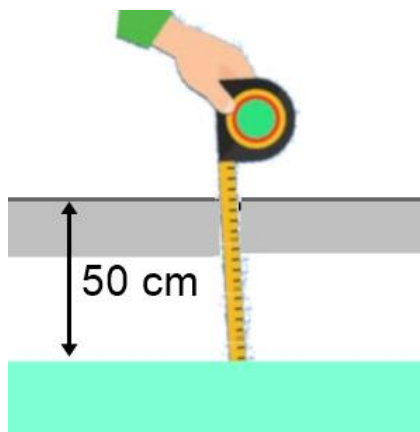


Figura 2 Medición del nivel de agua en la estación de bombeo

- j) Llene el tanque de recepción de agua cruda de la PTA.
 - Prenda las bombas de la estación de bombeo y apagarlas cuando el tanque esté lleno, es decir el nivel de agua coincida con la marca de cero en la regleta de medición de caudal.
- k) Tome una muestra de agua cruda del tanque de recepción y determine su turbiedad según procedimiento P33.
- a) Compruebe que la turbiedad de la muestra de agua cruda este por debajo del máximo admisible según la tabla 2.


Reacción:

 - Suspender la puesta en marcha de la PTA, por mala calidad de agua cruda.
 - Informar inmediatamente al jefe de la CTD.
 - Solicite una revisión de la fuente por contaminación.
 - Llene ficha RE01.
- l) Inicie el dosificador de coagulante según proceso P09.

Utilice Ficha RP01P02

Frecuencia procedimiento. Cada vez de puesta en marcha.

Materiales	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Flexómetro, material de limpieza. Protección personal: Casco de seguridad, Guantes de goma, overol industrial, protector de ojos. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.

	Procedimiento	Código: P03
	Puesta en marcha de la PTA Llenado de la PTA	Fecha: 07/08/2019



Puesta en marcha de la PTA: Llenado de la PTA P03

Objetivo

Poner en funcionamiento la PTA

Parámetros óptimos

Tabla 3 Rango de caudal de ingreso aceptable. PTA de la CTD

Máximo caudal entrante a la PTA	l/s	20
Mínimo caudal entrante a la PTA	l/s	6

Actividades

- Regule el caudal de ingreso y salida en la estación de bombeo para que el nivel en el tanque de la estación de bombeo se mantenga constante.
El caudal de ingreso se regula mediante la válvula de paso de la conducción, válvula VP1, que permite el paso de agua hacia la estación. Mientras el caudal de salida (caudal que va a la planta) se regula, una vez prendidas las bombas, mediante las válvulas de paso en la estación de bombeo. Esta operación depende del caudal que la conducción trae desde la captación.
- Compruebe el ajuste de las válvulas de la PTA, para que el agua sea dirigida por las unidades y llegue finalmente al almacenamiento.
Nota: Para operar los sistemas se debe seguir los procedimientos correspondientes. No manipule las válvulas si no está siguiendo un procedimiento.

Tabla 4 Ajuste de válvulas para operación normal de la PTA. Flujo dirigido por las unidades como destino almacenamiento.

Ajuste de válvulas para operación normal de la PTA Flujo dirigido por las unidades con destino almacenamiento		
Válvulas de paso para el funcionamiento de las unidades abiertas y reguladas, válvulas de desagüe cerradas.		
Parte del sistema de TA	Válvulas abiertas y reguladas	Válvulas cerradas
Conducción	Válvula de paso VP1	Válvula de desagüe VD1
Estación de bombeo	Válvulas de paso de agua bombeada Válvulas de paso de agua hacia la PTA en general	Válvulas de que desvían el flujo no dirigiéndolo hacia la PTA.
Tanque de recepción		VD2
Floculador		VD3
Sedimentador		Válvula de extracción de lodos
Filtros	VF1 VF2 VF3 VC1 VC2 VT5 VT6 VS1	VT3 VT4 VT7 VT8 VR1 VR2 VS3
	VS2 (válvula de flotador) ser funcional	

- b) Inspeccione visualmente el llenado de la planta.
- c) El agua inicial filtrada correspondiente al primer ciclo de bombeo de los filtros se debe eliminar. Restrinja el paso hacia los tanques de almacenamiento y desvíela hacia el drenaje. Para lo cual se debe tener las válvulas de los filtros con el siguiente ajuste:
- Ajuste las válvulas para operación normal según tabla 4.
 - Cierre las válvulas:
VS1
VS2
 - Abra las válvulas:
VS3

Una vez eliminada el agua filtrada correspondiente al primer ciclo de bombeo de los filtros, se debe dirigir el agua hacia los tanques de almacenamiento:

Para lo cual se debe tener las válvulas de los filtros con el siguiente ajuste:

- Cierre las válvulas:
VS3
- Abra las válvulas:
VS1
VS2

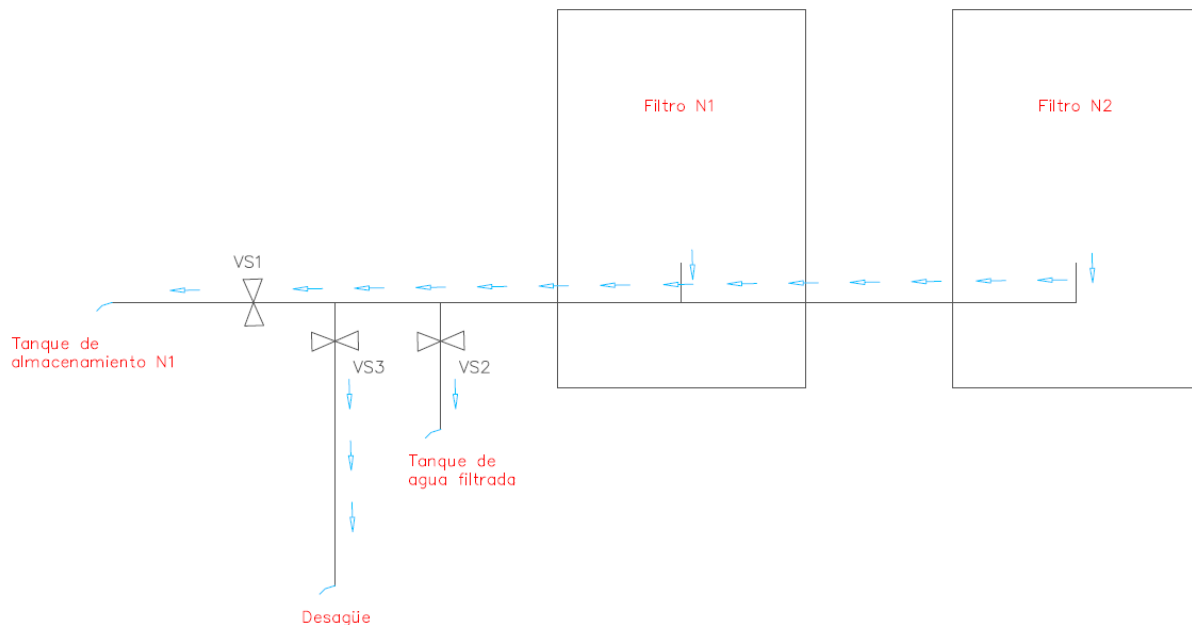


Figura 3 Esquema para actividad c

d) Mida el caudal que entra a la planta según el procedimiento P05.

e) Verifique que el caudal medido este dentro del rango admisible según tabla 3.

Reacción si el caudal que entra es menor al mínimo admisible:

Ra) Si la válvula de paso de la conducción, VP1, no está abierta completamente aumente el caudal que entra a la estación de bombeo dando mayor apertura de la válvula VP1 de la conducción y nuevamente regular las válvulas de paso hasta lograr un nivel de agua constante en el tanque de la estación de bombeo.

Rb) Si la válvula de paso de la conducción, VP1, está abierta completamente

- Informe inmediatamente al jefe de la CTD.
- Solicite una revisión del sistema de captación y conducción.
- Llene ficha PE01.

Reacción si el caudal que entra es mayor al máximo admisible:

Ajuste las válvulas de paso de las bombas en la estación de bombeo. Si no se soluciona el problema:

- Solicite una revisión del sistema de la estación de bombeo.
- Llene ficha PE01.

f) Prenda el sistema de aireación en modo automático con su botón de prendido de la caja de control ubicado en la caseta del ablandador.

g) Verifique que las unidades de tratamiento de la PTA se hayan llenado adecuadamente mediante inspección visual. Revise que no existan fugas.

Reacción:

Detenga la puesta en marcha, pare la PTA según procedimiento P04 y solucione el problema.

h) Tome una muestra de agua filtrada y determine su turbiedad, proceso P33, después de 15 minutos de iniciado el filtrado y compruebe que sea menor de 10 UNT.

Reacción:

- Determine nuevamente la turbiedad del agua filtrada durante 10 minutos cada minuto. Si todas tienen una turbiedad mayor a 10 UNT:
 - Constate la correcta aplicación de los procedimientos de puesta en marcha y en caso de detectar errores corregirlos.
 - Si no se encuentra el problema solicite una revisión de todo el sistema de tratamiento y sugiera una para de la PTA por mala calidad del agua tratada.

Frecuencia procedimiento. Cada vez de puesta en marcha.

Materiales	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.

Nota Actividad h: Para verificar la calidad de agua se toma cada minuto durante 10 minutos, debido a que un ciclo de bombeo dura aproximadamente 5 minutos y en este existen variaciones de calidad, al inicio y al final del ciclo la calidad es menor, pudiendo superar las 10 UNT. Pero si durante todo el ciclo se presenta mala calidad hay un problema que se debe solucionar. Se toman muestras en dos ciclos.

Procedimiento para la parada de la Planta de Tratamiento de Agua

Introducción

La parada implica que la PTA deje de producir agua tratada y que todos sus elementos estén salvaguardados hasta su próxima utilización.


Consta de un solo procedimiento: Parada de la planta.

Organización de procedimientos



Parada de la
PTA

(Procedimiento único)

	Procedimiento	Código: P04
	Parada de la PTA	Fecha: 07/08/2019



Parada de la PTA P04

Objetivo

Detener la producción de agua de la PTA y salvaguardar todos sus elementos hasta su próxima utilización.

Actividades

- Programe las actividades operacionales y/o de mantenimiento que se requieran realizar en la PTA durante la parada, defina: actividad, personal, materiales, equipos, tiempo.
Llene ficha RA01.
- Apague las bombas de los filtros (bomba F1, bomba F2) mediante los botones de apagado de la caja de control (botón “Bomba de abastecimiento agua piscina filtro #1” y botón “Bomba de abastecimiento agua piscina filtro #2”)
- Abra la válvula de desagüe de la conducción (válvula VD1).
- Cierre la válvula de paso de la conducción (válvula VP1).
- Pare el dosificador de sulfato de aluminio según procedimiento P10.
- Pare la dosificación de cloro según procedimiento P19.
- Apague las bombas de la estación de bombeo.
- Apague el sistema de aireación con su botón de apagado de la caja de control ubicado en la caseta del ablandador.
Frecuencia actividad: Cada vez que se vaya a vaciar los tanques de almacenamiento

Vaciado de las unidades

El vaciado de las unidades responde a una frecuencia en función de su mantenimiento.

- Drenaje de la estación de bombeo. Procedimiento P25.
- Drenaje de tanques de agua: cruda, sedimentada, filtrada y los tanques de almacenamiento agua tratada. Procedimiento P31
- Drenaje de tanques, canales e instalaciones que lo requieran. Procedimiento P32.
- Drenaje del floculador. Procedimiento P16.
- Drenaje del sedimentador. Procedimiento P18.

Frecuencia procedimiento. Cada vez de parada de la PTA, a excepción de las actividades donde se indica frecuencia exclusiva.

Materiales	Ficha RA01. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

Procedimientos. Tratamiento de agua

Introducción

Comprende la operación para el tratamiento de agua en la PTA. Se operan los elementos implicados en los procesos de tratamiento: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. La operación de los elementos para el tratamiento incluye, en los casos que apliquen, puesta en marcha, operación normal, parada y operaciones eventuales.

La operación normal se da cuando se está produciendo el caudal de diseño con la calidad requerida.

Parámetros óptimos

Tabla 5 Turbiedad máxima de agua cruda. PTA de la CTD

Turbiedad máxima de agua cruda	UNT	835
--------------------------------	-----	-----

Tabla 6 Rango de caudal entrante aceptable. PTA de la CTD

Máximo caudal entrante a la PTA	l/s	20
Mínimo caudal entrante a la PTA	l/s	6

Tabla 7 Turbiedad aceptable en los procesos de tratamiento de la PTA de la CTD

Agua sedimentada	UNT	10
Agua filtrada	UNT	5
Agua tratada	UNT	5


Nota Tabla 7. Los resultados de simulaciones en laboratorio de Izquierdo no superaban la turbiedad de 5 UNT en agua sedimentada, es decir, añadiendo el trabajo de los filtros se aseguraría prácticamente agua de esta calidad. Como contras se tiene: la simulación en laboratorio es más eficiente que el tratamiento en la planta, al realizar una línea de tendencia para obtener la curva de dosificación, existe error, produciendo una variación en la dosis definida.

Procedimientos. Medidor de caudal

Introducción

Para el tratamiento es necesario ajustar algunas operaciones de la planta con respecto al caudal. (CEPIS,2005).

El caudal debe estar dentro del rango adecuado para el funcionamiento de la PTA.

	Procedimiento	Código: P05
	Medición de caudal	Fecha: 07/08/2019



Medición de caudal P05

Objetivo

Determinar el caudal que ingresa a la PTA.

Parámetros óptimos

Tabla 8 Rango de caudal entrante aceptable. PTA de la CTD

Máximo caudal entrante a la PTA	l/s	20
Mínimo caudal entrante a la PTA	l/s	6

Actividades

Registre el nivel que marca la regleta de medición de caudal

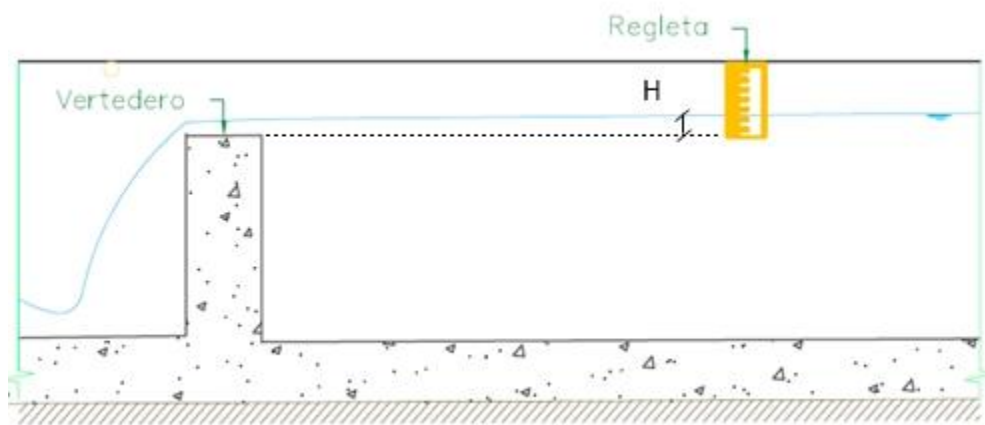


Figura 4 Esquema medidor de caudal. PTA de la CTD.

El caudal que está entrando a la planta se calcula así:

$$Q = 0.597 * H * \sqrt{H}$$

Donde:

Q: Caudal que entra a la planta (l/s)

H: Nivel de agua que marca la regleta (cm)

En caso de no tener una calculadora, se utiliza la siguiente gráfica, esta muestra el caudal que entra a la planta según el nivel de agua que marca la regleta.

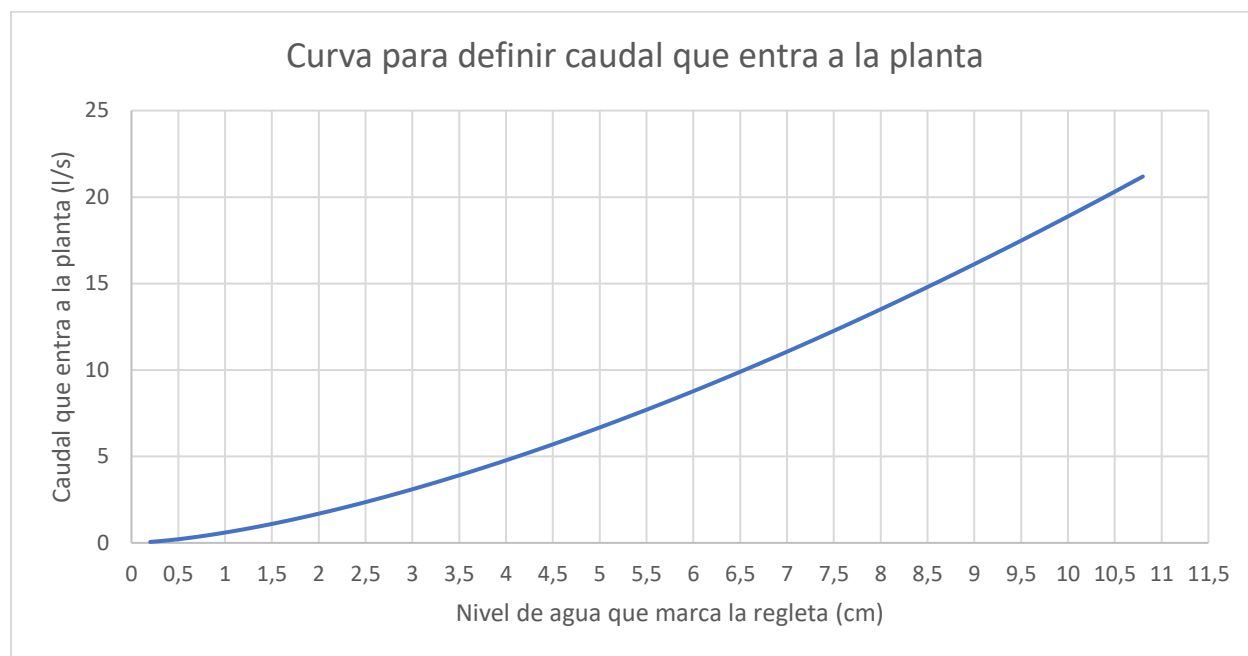


Figura 5 Curva que relaciona el caudal que entra a la planta con el nivel de agua sobre la cresta del vertedero de mezcla rápida medido con la regleta. PTA de la CTD.


Verifique que el caudal medido este dentro del rango admisible según tabla 8.

Utilice para el registro de datos la ficha PR05.

Frecuencia procedimiento. Aplique el procedimiento en cualquiera de los siguientes casos:

- Puesta en marcha de la PTA
- Cada 4 horas
- Cada vez que se requiera en un procedimiento.

Materiales	Ficha R05.
Equipos	Calculadora.

	Procedimiento	Código: P06
	Calibración de medición de caudal	Fecha: 07/08/2019



Calibración de medición de caudal P06

Objetivo

Determinar el caudal que entra a la PTA en función del nivel de agua que se produce antes del vertedero de mezcla rápida.

Implementar nuevamente el sistema de medición de caudal.

Causa para implementar el procedimiento

Si se da una situación que afecte el mecanismo de medición del caudal que entra a la planta se debe considerar implementar nuevamente el mecanismo, si la situación no está relacionada con la desubicación de la regleta con respecto a la cresta del vertedero solo se necesita calibrar.

Pueden darse situaciones como:

- Modificaciones en el canal anterior al vertedero de mezcla rápida o en dicho vertedero que cambien sus dimensiones.
- Desubicación de la regleta actual.

Actividades

Para implementar nuevamente el mecanismo proceda así:

- Coloque en el canal que parte de la recepción, a una distancia de 1 metro antes del vertedero de mezcla rápida, una regleta de 20 cm, de forma vertical, con su cero al nivel de la cresta del vertedero (la regleta debe quedar fija, pegada con silicón u otro material con mayor adherencia).

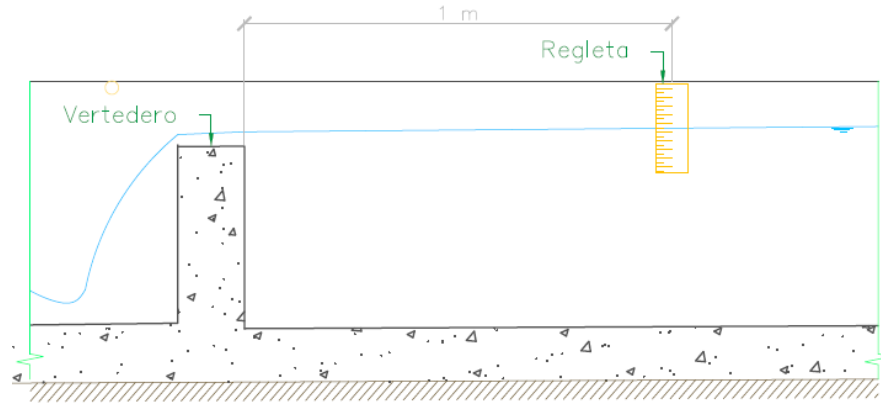


Figura 6 Esquema implementación de medidor de caudal. PTA de la CTD.

- Mida el caudal mediante aforo directo volumétrico, es decir, mida el tiempo de llenado de un recipiente de capacidad de por lo menos 50 litros con el caudal que ingresa a la planta, se recomienda hacerlo de la siguiente manera:
 - Fabrique una estructura en lata para ser colocada en el vertedero de mezcla rápida con el fin de redirigir el caudal para el llenado del recipiente. Vea figura 5.
 - Coloque la estructura y selle con silicón para evitar fugas, también puede usar otros materiales adherentes.
 - Realice el llenado del recipiente y el registro de su tiempo en segundos, así como de la capacidad exacta del recipiente (necesario dos personas, una toma el tiempo y otra coloca el recipiente)

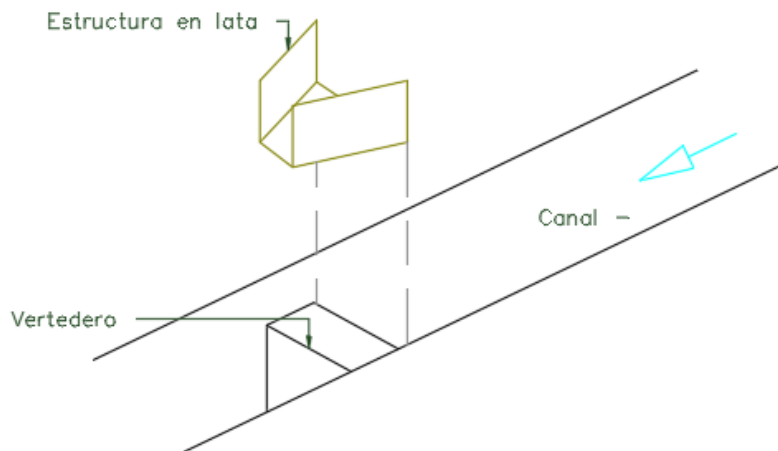


Figura 7 Esquema para redirigir el caudal para aforar

- Desmonte toda estructura colocada para redirigir el caudal. Registre el nivel de agua sobre la cresta del vertedero que marca la regleta.

- Repita el llenado tres veces, es decir, registre tres tiempos y realice un promedio. De ser los tiempos registrados muy diferentes (mayor a 1 segundo de diferencia) realice más registros hasta obtener similares y obtenga su promedio, regístrelo como tiempo de llenado del recipiente.
- Con el tiempo y la capacidad medidos se calcula el caudal así:

$$Q = \frac{t}{V}$$

Donde:

Q: Caudal que entra a la planta (l/s)

t: Tiempo de llenado del recipiente (s)

V: Capacidad del recipiente (l)

- Se calcula “m”, el parámetro específico para la ecuación de caudal-altura en vertederos.

$$m = \frac{Q}{L * H * \sqrt{H}}$$

Donde:

Q: Caudal que entra a la planta (el calculado con los datos obtenidos con el llenado del recipiente) (l/s)

L: Ancho del canal (41 cm) (cm)

H: Nivel de agua sobre la cresta del vertedero medido mediante la regleta (cm)

- La nueva ecuación para el cálculo del caudal con relación al nivel de agua antes del vertedero de mezcla rápida es:

$$Q = m * H * \sqrt{H}$$

Donde:

Q: Caudal que entra a la planta (l/s)

m: Parámetro específico para ecuación de aforo de caudal con vertederos. (el calculado en este procedimiento)

H: Nivel de agua que marca la regleta (cm)

Para calibrar el sistema excluya el primer paso para la implementación y proceda con el resto.

Registre en un documento la nueva ecuación determinada para cálculo de caudal, realice una tabla y gráfico que relacione el nivel de agua marcado por la regleta con el caudal que ingresa a la PTA.

Frecuencia: Cada que se dé una causa para implementar el procedimiento.

Materiales	Silicón u otro material con mayor adherencia, regleta de 20 cm, hoja de papel para el registro, plancha de lata 1mX1m, tijeras para lata.
Equipos	Flexómetro, cronómetro, calculadora, recipiente de capacidad de por lo menos 50 litros. Protección personal: Casco de seguridad, Guantes de cuero, overol industrial.

Procedimientos. Sustancias químicas

Parámetros óptimos

- **Coagulante: sulfato de aluminio**

El coagulante debe ser Sulfato de Aluminio. Tipo A. Granular.

Las especificaciones técnicas del sulfato de aluminio para la PTA de la CTD se muestran en la tabla 9.


Tabla 9 Especificaciones técnicas del sulfato de aluminio para la PTA de la CTD

Parámetro		Estado físico
Impurezas objetables		No
Granulometría		90% pasa tamiz #10
Contenido de Aluminia	Al_2O_3	17%
	Al soluble en el agua	9%
Contenido de Fe_2O_3	hierro	0.75%
Insolubles suspendidos	Sin purificar	10%
	Purificado	0.5%

Nota: Las especificaciones mostradas corresponden a sulfato de aluminio para tratamiento de agua de consumo humano, son especificaciones de la American Water Works Association (AWWA)

- **Desinfectante: cloro**

El desinfectante debe ser cloro gas

	Procedimiento	Código: P07
	Manejo de sustancias químicas	Fecha: 07/08/2019



Manejo de sustancias químicas P07

Objetivo

Correcto manejo de las sustancias químicas.

Actividades

A) Recepción de sustancias químicas

Para la recepción emplee los siguientes criterios:

Coagulante: sulfato de aluminio

- Realice el pedido de coagulante, según la cantidad para la PTA de la CTD que se muestran en la siguiente tabla, puede pedir bolsas de 25 kg o de 50 kg.

Tabla 10 Coagulante requerido por mes en la PTA de la CTD

Coagulante requerido en la PTA de la CTD		
Requerimiento	Bolsas de 25 Kg	Bolsas de 50 Kg
Cantidad de bolsas de coagulante requeridas en un mes	67	34
Cantidad mínima que se debe tener almacenada	20	10

Nota: Estas cantidades fueron calculadas con datos promedios.

- Verifique que la cantidad total coincida con la solicitada.
 - Verifique que los envases (bolsas) estén en buen estado.
 - Observe el rótulo de los envases (bolsas) para comprobar especificación técnica del producto. Tabla 9.
 - Verifique el estado granular del coagulante de una de las unidades.
 - Solicite la comprobación de la composición química de una muestra, esta debe cumplir con las especificaciones técnicas de la Tabla 9. Utilice ficha SP07.
- Frecuencia actividad: Cada vez que haya cambio de proveedor.

Desinfectante: cloro gas

- a) Realice el pedido de cloro gas según la cantidad que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11 Cantidad de cloro gas por mes requerido en la PTA de la CTD

	Cilindros de 68 Kg de capacidad
Cantidad requerida en un mes	1
Cantidad mínima que se debe tener almacenada	1

Nota: Estas cantidades fueron calculadas con datos promedios.

- b) Verifique que la cantidad total coincida con la solicitada (número de unidades y la cantidad mostrada en el rótulo del envase (cilindro)).
- c) Verifique que los cilindros estén en buen estado.
- d) Observe el rótulo de los cilindros (bolsas), compruebe que sea cloro.

B) Almacenamiento

Para el almacenamiento emplee los siguientes criterios:

Coagulante: sulfato de aluminio

- a) Almacene el coagulante sobre tarimas de madera.
- b) No deposite sustancias químicas nuevas sobre existentes.
- c) No apile a una altura mayor de 2 metros.
- d) Deje espacio entre pilas y pared, y entre pilas.
- e) Mantenga la bodega seca y ventilada.
- f) No almacene otra sustancia química en la bodega.

Desinfectante: cloro gas

- a) Se debe almacenar los cilindros asegurados en una posición vertical.
- b) No debe dar el sol de forma directa a los cilindros nunca.
- c) Mantenga la bodega seca y ventilada.

C) Transferencia

En la siguiente tabla se muestra las precauciones y medidas empleadas para la transferencia de sustancias químicas

Tabla 12 Precauciones y medidas para el manejo de sustancias químicas

Sustancia química	Precauciones y equipos de protección					
	Guantes de goma	Máscara contra el polvo	Protector de ojos	Protector de piel	Detector de fugas	Respirador de oxígeno
Coagulante: sulfato de aluminio	X	X		x		
Desinfectante: gas cloro	X		X		X	X

Frecuencia procedimiento: Cada vez que se requiera recepcionar, almacenar o transportar sustancias químicas para la PTA, a excepción de las actividades donde se indica frecuencia exclusiva.

Materiales	Ficha SP07.
Equipos	Protección personal: Guantes de hule, máscara contra el polvo, protector de ojos, protector de piel, detector de fugas, respirador de oxígeno.

Nota Procedimiento. Este procedimiento está definido bajo la condición de operación continua de la CTD.

Procedimientos. Instalaciones de coagulación

Introducción

La operación de este proceso comprende manejo y dosificación de sustancias químicas involucrando la operación de los equipos dosificadores.

El manejo del coagulante consta en el procedimiento P07.

Procedimientos. Dosificación de sustancias químicas

Parámetros de dosificación

Dosis óptima de coagulante

La dosis óptima de coagulante se determina en función de la turbiedad del agua cruda, la figura 6 muestra esta relación.

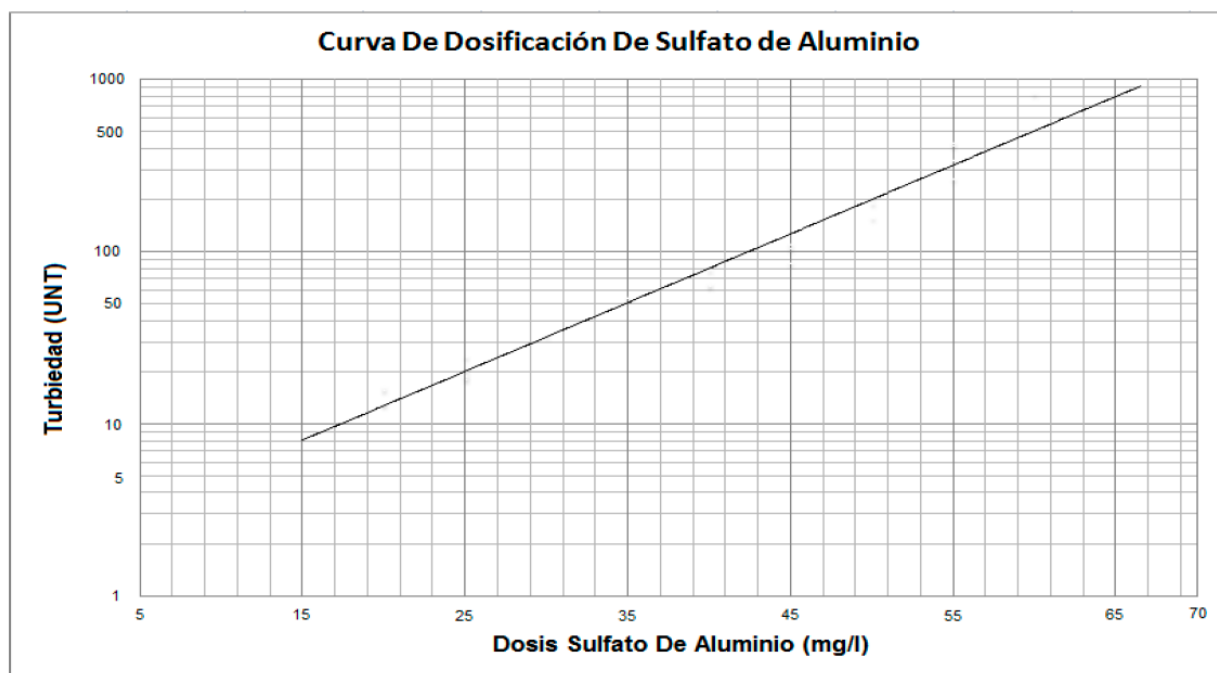



Figura 8 Curva de relación entre la turbiedad del agua cruda y la dosis de coagulante a aplicar en el proceso de coagulación. PTA de la CTD.

Concentración óptima de coagulante

Tabla 13 Concentración óptima

Concentración de la solución de coagulante óptima	5%	50 000 mg/l
---	----	-------------

	Procedimiento	Código: P08
	Instalaciones de coagulación Dosificación de sustancias químicas Puesta en marcha	Fecha: 07/08/2019



Instalaciones de coagulación. Dosificación de sustancias químicas. Puesta en marcha P08

Objetivo

Tener en correcto estado todos los elementos del sistema de dosificación de la PTA para su funcionamiento.

Preparar la solución de coagulante

Iniciar la dosificación de coagulante

Actividades

- a) Compruebe visualmente limpieza y estado físico del sistema de dosificación

Reacción:

- Corrija el problema de estado físico.
- Revise que esta operación de mantenimiento esté realizada conforme a su frecuencia:
Tanques de solución de coagulante. Procedimiento P21.

- b) Prepare la solución de coagulante. (Actividad igual para ambos tanques).

- Cierre la válvula de salida de del tanque.
- Llene el tanque mediante la apertura de las válvulas que permiten el paso de agua filtrada hacia los tanques.

Prenda la bomba

BS1

Abra las válvulas

VS1

VA3

VA4 (N1)

VA5 (N2)

- Coloque 50 kg de sulfato de aluminio (1 bolsa de 50 kg o 2 bolsas de 25 kg) en el tanque de solución.

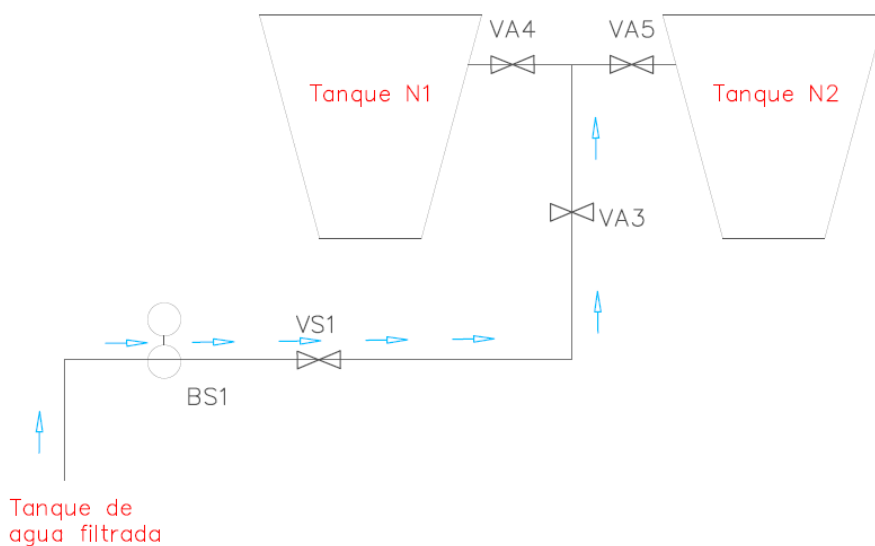


Figura 9 Esquema para actividad b

- Mezcle la solución con una paleta hasta que se compruebe de forma visual que todo el sulfato de aluminio se haya disuelto.




Figura 10 Mezcla de solución de sulfato de aluminio

- c) Realice el proceso de operación normal.

Frecuencia procedimiento. Aplique el procedimiento en cualquiera de los siguientes casos:

- Cada vez de puesta en marcha
- Cada vez que los tanques se vacíen

Materiales	Sulfato de aluminio 100 Kg (Para los dos tanques). En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Protección personal: Casco de seguridad, guantes de goma, overol industrial, protector de ojos. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

	Procedimiento	Código: P09
	Instalaciones de coagulación	Fecha: 07/08/2019
	Dosificación de sustancias químicas Operación normal	



Instalaciones de coagulación. Dosificación de sustancias químicas. Operación normal P09

Objetivo

Dosificar óptimamente las sustancias químicas en la coagulación.

Actividades

a) Seleccione la dosis óptima de coagulante

- Tome una muestra de agua cruda del tanque de recepción y determine su turbiedad según procedimiento P33.
- Con el dato de la medición de la turbiedad, determine la dosis óptima de sulfato de aluminio mediante la curva de relación entre la turbiedad del agua cruda y la dosis de coagulante a aplicar en el proceso de coagulación, figura 8.

b) Determine el caudal de solución, q, que se debe aplicar en el proceso de coagulación con la siguiente fórmula.

$$q = \frac{6 * D * Q}{5\ 000}$$

Donde:

q: Caudal de solución (l/min)

D: Dosis óptima de sulfato de aluminio (determinada a partir de la turbiedad del agua cruda con la curva de la figura 8) (mg/l)

Q: Caudal que entra a la planta (determinación mediante procedimiento P05) (l/s)

- c) Determine la posición de la válvula dosificadora para dosificar el caudal de solución determinado.

Para dosificar el caudal calculado, q , se utiliza la curva de calibración que se muestra en la figura 11. En la que se da la posición de la manija de la válvula en función del caudal que pasa. La posición se define según su ángulo de giro como se indica en la figura 12.

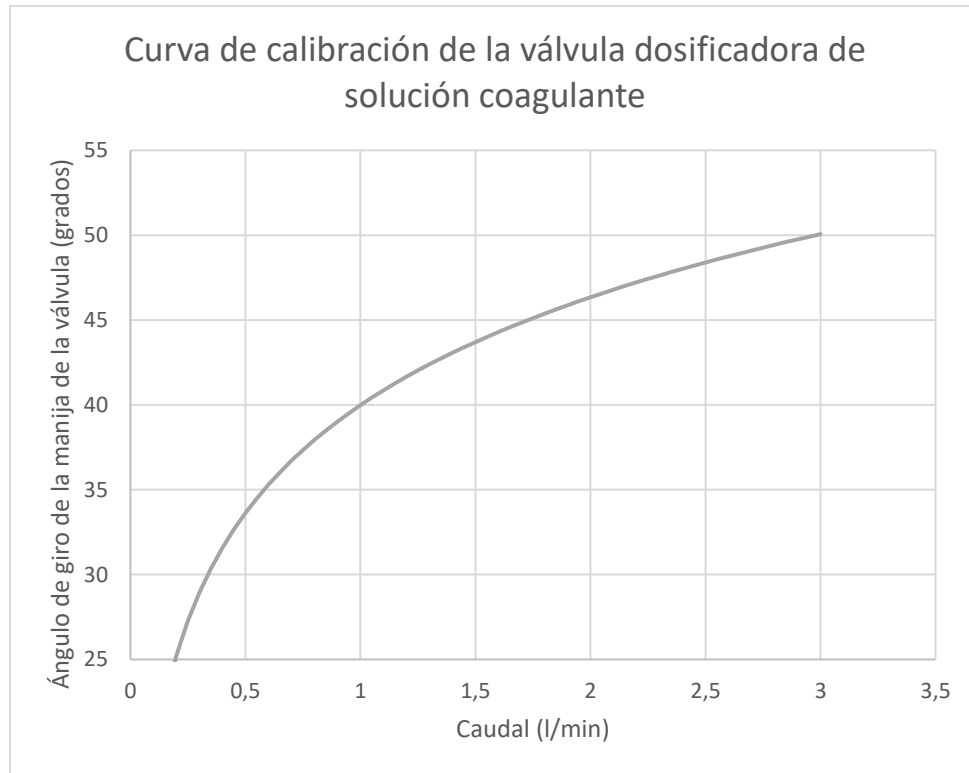


Figura 11 Curva de calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante. PTA de la CTD

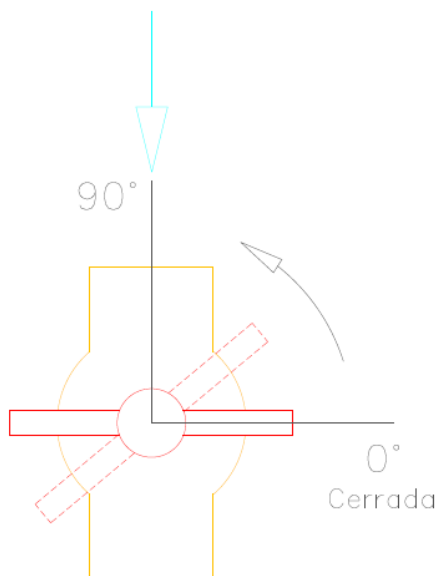


Figura 12 Ángulo de giro de manija de la válvula dosificadora

- d) Abra la válvula de paso VA1.
- e) Abra la válvula de dosificación con la posición de su manija definida
- f) Compruebe el caudal de solución, q , que está aplicando el dosificador así:
 - Tome el tiempo de llenado de cierto volumen de solución.
 - Calcule el caudal dosificado:

$$q = \frac{V}{t}$$

Donde:

q : Caudal de solución dosificado (l/min)

V : Volumen de solución (l)

t : Tiempo de llenado (min)

Nota: Siempre compruebe que el caudal de solución sea el correcto después de ajustar la válvula

Reacción:

- Reajuste la apertura de la válvula con su manija para que se dosifique el caudal de solución requerido.

Frecuencia actividad: Después de ajustar la válvula con la figura 11 y cada dos horas.

- g) Cuando se vacíe el tanque de solución de coagulante N1 abra la válvula de paso VA1.
- d) Prepare la solución de coagulante en el tanque N1. (Según Procedimiento P08 Actividad b).
- h) Cuando se vacíe el tanque de solución de coagulante N2, prepare la solución de coagulante en este tanque. (Según Procedimiento P08 Actividad b).

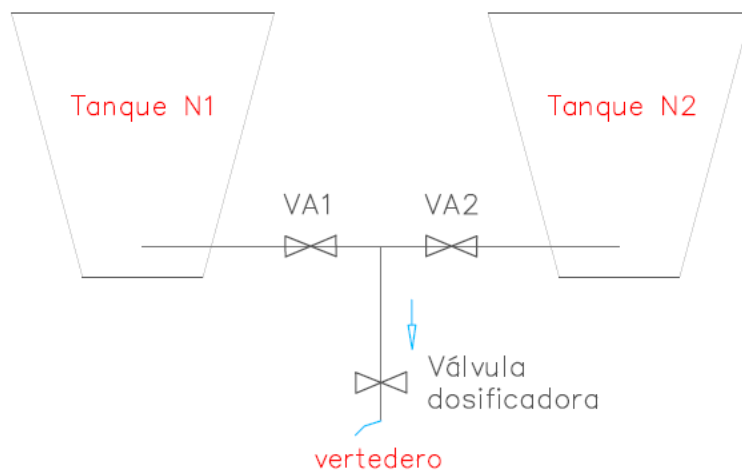



Figura 13 Esquema para actividades d, e, g

Frecuencia procedimiento: Cada vez de puesta en marcha a excepción de las actividades donde se indica frecuencia propia.

Materiales	Sulfato de Aluminio en la cantidad requerida. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Paleta, calculadora. Protección personal: Casco de seguridad, guantes de goma, overol industrial, protector de ojos. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

	Procedimiento	Código: P10
	Instalaciones de coagulación Dosificación de sustancias químicas Operación de parada	Fecha: 07/08/2019



Instalaciones de coagulación. Dosificación de sustancias químicas. Operación de parada P10

Objetivo


Detener la dosificación de sustancias químicas del proceso de coagulación y salvaguardar todos los elementos del sistema de dosificación hasta su próxima utilización.

Actividades

- Cierre la válvula dosificadora.
- Drene los tanques de solución de coagulante según procedimiento P21.

Frecuencia: Cada vez de parada de la PTA.

Materiales	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

	Procedimiento	Código: P11
	Calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante	Fecha: 07/08/2019



Calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante P11

Objetivo

Determinar el caudal que sale por la válvula dosificadora en función de la posición de su manija.

Causa para implementar el procedimiento

Si se da una situación que afecte la dosificación de solución de coagulante se debe después de solucionarlo realizar la calibración de la válvula dosificadora.

Actividades

Para calibrar la válvula dosificadora de coagulante se procede así:

- a) Llene los tanques de solución de coagulante con agua.
 - Prenda la bomba
 - BS1
 - Abra las válvulas
 - VS1
 - VA3
 - VA4 (N1)
 - VA5 (N2)

(ver figura 9)

- b) Tome el tiempo de llenado de cierto volumen de agua con diferentes aberturas de la válvula dosificadora, desde que empieza a salir solución hasta que el tubo dosificador rebose debido a que el caudal que sale por sus orificios es menor al que sale por la válvula dosificadora.

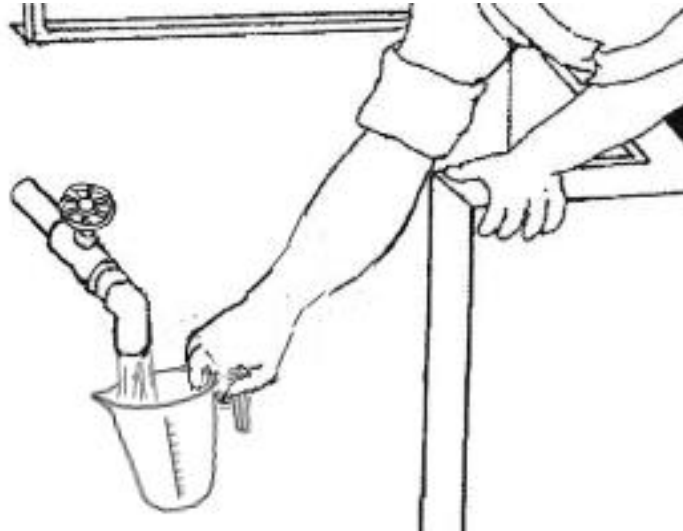


Figura 14 Medición de caudal que sale por la válvula dosificadora de solución de coagulante

- c) Registre la posición de la manija de la válvula, es decir su ángulo de giro junto con el caudal que sale en esa posición (ver figura 11) y grafique una curva de tendencia de la relación entre estos dos (se grafican en un plano cartesiano, en el un eje el caudal y en el otro la posición, los puntos y se traza la curva de tendencia como la figura 10), esta será la curva de calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante.

Registre en un documento la Curva de calibración de la válvula dosificadora de solución de coagulante.

Frecuencia procedimiento. Aplique el procedimiento en cualquiera de los siguientes casos:

- Cada que se dé una causa para implementar el procedimiento.
- Cada vez de puesta en marcha.

Materiales	Hoja de papel para el registro.
Equipos	Cronómetro, recipiente de 1 litro o más con mediciones. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, botas.

Procedimientos. Mezclador: Vertedero

Introducción


El objetivo de esta unidad es producir una mezcla homogénea del coagulante con el agua y lograr la máxima desestabilización de partículas, mediante condiciones óptimas intensidad y tiempo. (CEPIS, 2005)

La Puesta en marcha no cuenta con procedimiento debido a que:

Con la puesta en marcha de la PTA (procedimientos P01, P02 y P03) se incluye también la mezcla rápida.

La Parada no cuenta con procedimiento debido a que:

Con la parada de la PTA (procedimiento P04) se incluye también la mezcla rápida.

	Procedimiento	Código: P12
	Mezclador: Vertedero Operación normal	Fecha: 07/08/2019



Mezclador: Vertedero. Operación normal P12

Objetivo

Correcto funcionamiento del mezclador: vertedero rectangular.

Actividades

- Compruebe mediante observación que la salida de la solución de coagulante se de a lo largo de toda la canaleta. De no darse corregir el problema.
- Compruebe que el caudal de operación esté dentro del rango adecuado para operación de la PTA, tabla 6. Mida el caudal según el procedimiento P05.

Reacción:

Verifique el sistema de ingreso del caudal y aplique correcciones si es el caso. Realice la actividad e del procedimiento P03.

Materiales	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

Procedimientos. Floculador

Introducción


El objetivo del floculador es producir el crecimiento del flóculo para que tenga un tamaño y peso adecuado para la decantación mediante condiciones óptimas de intensidad y tiempo. (CEPIS, 2005)

La Puesta en marcha no cuenta con procedimiento debido a que:

Con la puesta en marcha de la PTA (procedimientos P01, P02 y P03) se incluye también la mezcla rápida.

La Parada no cuenta con procedimiento debido a que:

Con la parada de la PTA (procedimiento P04) se incluye también la mezcla rápida.

	Procedimiento	Código: P13
	Floculador	Fecha: 07/08/2019
	Operación normal	



Floculador. Operación normal P13

Objetivo

Correcto funcionamiento del floculador.

Actividades

- a) Compruebe que el caudal de operación esté dentro del rango adecuado para operación de la PTA tabla 6. Mida el caudal según el procedimiento P05.

Reacción:

Verifique el sistema de ingreso del caudal y aplique correcciones si es el caso. Realice la actividad e del procedimiento P03.

- b) Compruebe que la formación de flóculos inicie en la primera cámara. Tome una muestra de agua en un recipiente de vidrio transparente al final de la primera cámara, mire y compruebe la existencia de flóculos.

Reacción:

Revise dosificación. Revise la correcta aplicación del procedimiento P09.

Frecuencia procedimiento: Cada 4 horas

Materiales	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

Procedimientos. Sedimentador

En este equipo se da la sedimentación de sólidos contenidos en el agua sometida a los procesos de coagulación y floculación.

Introducción

La Puesta en marcha no cuenta con procedimiento debido a que:

Con la puesta en marcha de la PTA (procedimientos P01, P02 y P03) se incluye también la mezcla rápida.


La Parada no cuenta con procedimiento debido a que:

Con la parada de la PTA (procedimiento P04) se incluye también la mezcla rápida.

Parámetros de sedimentación

Calidad del agua sedimentada

El agua sedimentada por la PTA de la CTD debe tener una turbiedad de 10 UNT. Pero siempre se debe tratar de que sea la menor posible.

	Procedimiento	Código: P14
	Sedimentador	Fecha: 07/08/2019
	Operación normal	



Sedimentador. Operación normal P14

Objetivo

Correcto funcionamiento del sedimentador.

Actividades

- a) Compruebe que el caudal de operación esté dentro del rango adecuado para operación de la PTA tabla 6. Mida el caudal según el procedimiento P05.

Reacción:

Verifique el sistema de ingreso del caudal y aplique correcciones si es el caso. Realice la actividad e del procedimiento P03.

- b) Determinar la turbiedad de una muestra de agua sedimentada en el canal de salida según procedimiento P33. Si la turbiedad es mayor a 10 UNT realizar el procedimiento de lavado de filtros.

Frecuencia: Cada 4 horas

- c) Retirar el material flotante.

- a) Se debe comprobar estas condiciones en el sedimentador:

- No presencia de burbujas de aire
- No presencia de espuma
- El agua sea tan clara que las placas se puedan contar
- No presencia de algas
- Nivel de lodos del sedimentador sea menor a 50 cm medidos desde la base de la tolva.

Reacción: Pare la unidad y realice su limpieza según procedimiento P23.

Frecuencia: cada 4 horas

Materiales	Espumadera. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

Procedimientos. Filtros


Introducción

La filtración es el proceso de tratamiento de clarificación final de la PTA. Es esencial que los filtros presenten altos niveles de eficiencia en forma constante y permanente.

Parámetros de filtración

Calidad del agua filtrada

El agua filtrada por la PTA de la CTD debe tener una turbiedad máxima de 5 UNT. (comprobar y definir y poner en evaluación)

	Procedimiento	Código: P15
	Filtros Operación normal	Fecha: 07/08/2019



Filtros. Operación normal P15

Objetivo

Correcto funcionamiento de los filtros.

Actividades

- a) Determine la turbiedad de una muestra de agua filtrada según procedimiento P33 y verifique que esté dentro del rango óptimo (Tabla 7).


Reacción:

- Realice el retrolavado de los filtros según procedimiento P16
- Si el problema persiste programe una operación de mantenimiento de filtros según procedimiento P24.

Frecuencia: Cada 4 horas

- b) Realizar el retrolavado de los filtros según procedimiento P16.

Materiales	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los equipos indicados en estos.

	Procedimiento	Código: P16
	Retrolavado de filtros	Fecha: 07/08/2019



Retrolavado de filtros P16

Objetivo

Reducir la colmatación de los filtros para mantener la eficiencia del proceso de filtración.

Actividades

Nota1: Para realizar este procedimiento la PTA debe estar parada.

Nota2: Se debe disponer de agua en el tanque de almacenamiento de agua filtrada.

- a) Ajuste las válvulas de los filtros para dirigir el agua de lavado.
Partiendo del ajuste de válvulas de filtros normal, realizar:
 - Abra las válvulas de desagüe de agua de lavado
VT17
Vt18
 - Cierre las válvulas
VT5
VT6
 - Abra las válvulas
VT3
VT4
- b) Prenda las bombas de retrolavado (bombas BR1 y bomba BR2) mediante los botones de encendido “Bomba retro #1” y “bomba retro #2”
- c) Prolongue la operación durante 7 minutos, tiempo necesario para obtener un agua con baja turbiedad.
- d) Apague las bombas de retrolavado (bombas BR1 y bomba BR2) mediante los botones de apagado “Bomba retro #1” y “bomba retro #2”
- e) Ajuste las válvulas de los filtros para disponerlos para la operación normal
 - Cierre las válvulas de desagüe de agua de lavado
VT17
Vt18
 - Abra las válvulas

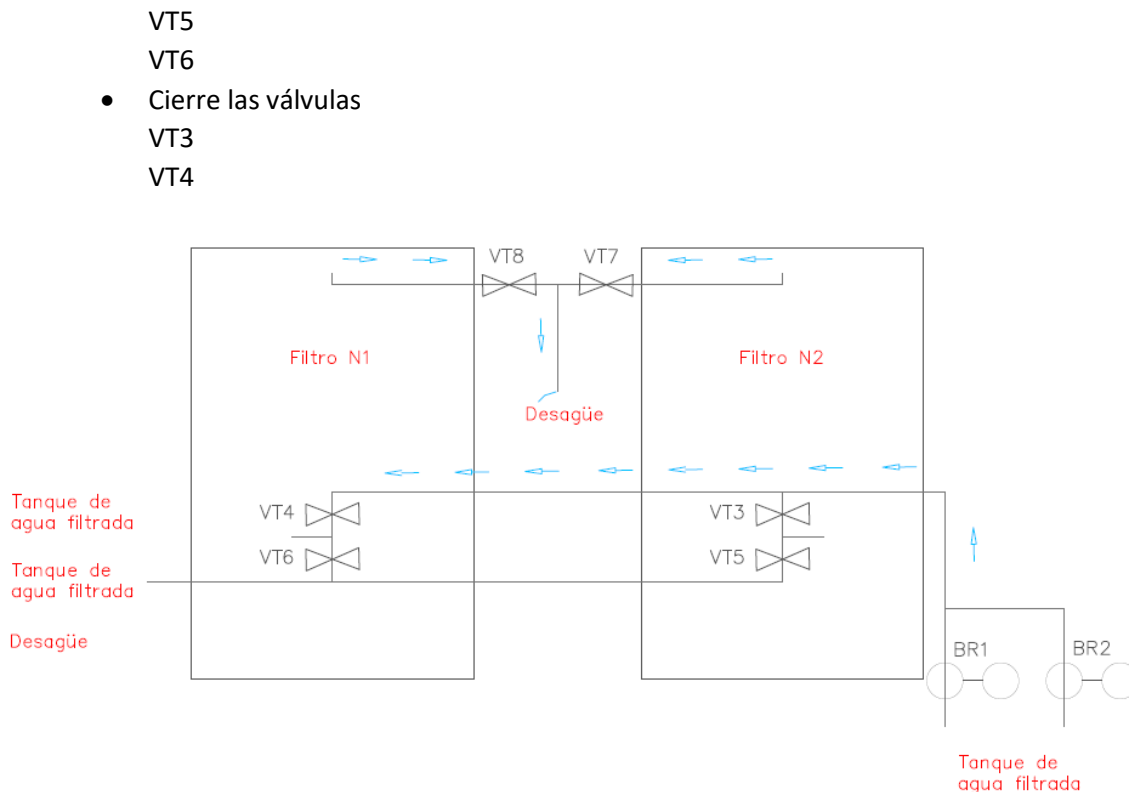


Figura 15 Esquema para el procedimiento

Utilice para el registro la ficha RP16.

Frecuencia procedimiento. Aplique el procedimiento en cualquiera de los siguientes casos:

- Cada día
- Cada vez que el agua sedimentada presenta una turbiedad mayor a 10 UNT según las muestras tomadas en los periodos definidos (cada 4 horas)

Materiales	Ficha RP16. En caso de que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.

Nota procedimiento. Con criterio personal se definió el lavado de filtros ante una turbiedad mayor a 10 UNT del agua sedimentada. El operador actualmente realiza el lavado dos veces al día dependiendo de su inspección visual de la turbiedad del agua.

Procedimientos. Instalaciones de desinfección

Introducción

La desinfección es el último proceso de tratamiento de la PTA, es el proceso encargado de asegurar que el agua llegue a su destino con las características microbiológicas requeridas. La mayor parte de remoción de organismos debe ser completada en los procesos anteriores, teniendo a la desinfección solo como asegurador de que se mantenga la calidad alcanzada.

Parámetros de desinfección

Calidad del agua desinfectada

El agua desinfectada por la PTA de la CTD debe tener una turbiedad máxima de 5 UNT.

Manejo de sustancias químicas


El manejo del coagulante consta en el procedimiento P07.

Dosificación de sustancias químicas

Parámetros de dosificación

Dosis de cloro

El dosificador debe marcar 110 g/h de solución de cloro

	Procedimiento	Código: P17
	Instalaciones de desinfección	Fecha: 07/08/2019
	Dosificación de sustancias químicas Puesta en marcha	



Instalaciones de desinfección. Dosificación de sustancias químicas. Puesta en marcha P17

Objetivo

Dosificar el desinfectante.

Actividades

Previo: El tanque de almacenamiento debe tener un nivel superior a 130 cm de no ser así poner en marcha la planta según procedimientos P01, P02 y P03 saltándose esta actividad hasta cumplir con dicha condición.


- Coloque el cilindro de cloro en la balanza para determinar el peso del cloro líquido.
- Observe en la balanza el peso bruto del cilindro, más el peso del cloro.
El peso bruto de los cilindros utilizados es de 60 Kg y la capacidad es de 68 Kg de cloro.
- Determine el peso del cloro gas licuado que contiene. A la medida de peso registrada por la balanza se le resta el peso bruto del cilindro. Se debe comprobar que el cilindro contenga cloro.
Reacción:
Colocar otro cilindro y repetir actividades a), b) y c).
- Quite la tapa de protección del cilindro.
- Haga coincidir la tuerca de la válvula auxiliar con la rosca ubicada en la válvula del cilindro y ajuste la unión con una llave ajustable.
- Regule las válvulas para permitir el paso del caudal de solución.
- Prenda una o más bombas de recirculación (bomba R1, bomba R2, bomba R3) mediante los botones de encendido de la caja de control (botón "Bomba #1 de recirculación" botón "bomba #2 de recirculación y botón "Bomba #3 de recirculación").
- Abra lentamente la válvula del cilindro accionándola según el giro de las manecillas del reloj.
- Verifique si existen fugas de cloro, utilizando amoniaco. Verifique que no se vea "humo blanco" ante la presencia de vapor de amoniaco.
- Abra la válvula de conexión con el manifold usando la llave adecuada para hacer pasar el gas dosificador.
- Ajuste la dosificación rotando la perilla del clorador. Hacia la izquierda se aumenta la dosificación. El marcador debe mostrar la cantidad de cloro requerida de desinfectante.

La cantidad requerida de desinfectante es 110 g/h.

Frecuencia:

Cada vez de puesta en marcha de la PTA

Materiales	Cilindro/s de cloro gas, amoníaco.
Equipos	Balanza. Protección personal: Protector de ojos, overol industrial, detector de fugas, respirador de oxígeno, casco.

	Procedimiento	Código: P18
	Instalaciones de desinfección Dosificación de sustancias químicas Operación normal	Fecha: 07/08/2019



Instalaciones de desinfección. Dosificación de sustancias químicas. Operación normal P18


Objetivo

Correcto funcionamiento de las instalaciones de desinfección

Actividades

- a) Verifique que la dosificación sea la correcta:
 - Ajuste la dosificación rotando la perilla del clorador hacia la izquierda se aumenta la dosificación. El marcador debe mostrar la cantidad de cloro requerida de desinfectante. La cantidad requerida de desinfectante es 110 g/h.
- l) Verifique la existencia de fugas utilizando amoníaco. Verifique que no se vea “humo blanco” ante la presencia de vapor de amoníaco.
- b)

Materiales	Amoniaco.
Equipos	Equipos para control con amoníaco. Protección personal: Protector de ojos, overol industrial, detector de fugas, respirador de oxígeno, casco.

	Procedimiento	Código: P19
	Instalaciones de desinfección Dosificación de sustancias químicas Operación de parada	Fecha: 07/08/2019



Instalaciones de desinfección. Dosificación de sustancias químicas. Operación de parada P19

Objetivo

Detener la dosificación de cloro y salvaguardar todos los elementos del sistema de dosificación de desinfectante hasta su próxima utilización.

Actividades

- Cierre el suministro de cloro al clorador accionando la válvula de control en el sentido indicado para evitar el paso del cloro.
- Cuando el marcador del clorador marque cero, rotar la perilla hasta la posición de cerrado.

Frecuencia: Cada vez de parada de la PTA

Materiales	Ninguno, a excepción que se tenga que realizar procedimientos interconectados, utilice los materiales indicados en estos.
Equipos	Protección personal: Protector de ojos, overol industrial, detector de fugas, respirador de oxígeno, casco.

Procedimientos. Emergencia

Introducción

Las situaciones de emergencia implican la inmediata suspensión de actividades para atenderla.


Acurre por motivos de fuerza mayor y se presenta de forma imprevista a causa de fallas graves o desastres.

Organización de procedimientos



Emergencia

(Procedimiento único)

	Procedimiento	Código: P20
	Operaciones de emergencia	Fecha: 07/08/2019



Operaciones de Emergencia P20

Objetivo

Sobrellevar la emergencia.

Las emergencias que se pueden suscitar son:

- Falla de energía.
- Falla en estructura o equipos esenciales
- Terremotos
- Incendios
- Inundaciones
- Escapes de cloro

En todas las emergencias:

- Suspenda inmediatamente las actividades y atienda la emergencia
- Apenas tenga un momento informe al jefe de la CTD
- Si es posible parar la PTA según procedimiento P04
- Llame al Servicio Integrado de Seguridad ECU-911

En casos específicos, además:


- En caso de incendio utilice el extintor de incendios.
- En caso de inundación se debe avisar al jefe de la CTD apenas vea peligro de inundación.
- En caso de escape de cloro:
 - Ponerse la máscara protectora
 - Cierre la válvula del cilindro
 - Ubique la fuga por medio del amoniaco. Verifique que no se vea “humo blanco” ante la presencia de vapor de amoniaco.

Procedimientos de Mantenimiento

Los procedimientos de mantenimiento abarcan diversos ámbitos que implican actividades tanto correctivas como preventivas.

Para llevar a cabo un mantenimiento se debe utilizar la ficha RA01.

Los procedimientos de mantenimiento deben organizarse de modo que se minimice el tiempo de parada de la PTA. Se debe intentar coincidir con las paradas obligatorias de la PTA.

	Procedimiento	Código: P21
	Tanques de solución de coagulante	Fecha: 07/08/2019



Tanques de solución de coagulante P21

Objetivo

Verificar el estado de los tanques de solución de coagulante, drenarlos, limpiarlos y desinfectarlos para tenerlos en condiciones para su utilización.

Actividades

Nota: Para realizar este procedimiento la PTA debe estar parada.

Inspección

- a) Verifique que no existan daños en los tanques, fisuras.
Reacción:
Solicite una reparación o un nuevo tanque. Utilice SE01.
Frecuencia inspección: Cada semana

Drenaje

- a) Verifique si no está ingresando agua a los tanques, de no ser así, cierre las válvulas de paso.
VS1
VA3
VA4 (N1)
VA5 (N2)
- b) Abra las válvulas de desagüe de los tanques, drene los tanques hasta que estén vacíos.
VA1 (N1)
VA2 (N2)
Válvula dosificadora
Nota. Realizar el drenaje de preferencia cuando la cantidad de solución de coagulante en los tanques es poca o nula.
Frecuencia drenaje. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:
 - Cuando la planta va estar parada por una semana o más.
 - Cada mes

Limpieza y desinfección

- a) Drene los tanques
- b) Con un balde eche agua a las paredes interiores limpiándolas con un cepillo hasta que esté eliminada toda la suciedad.



Figura 16 Cepillado

- b) Eche cuatro 2 cucharas (20 g) de hipoclorito de calcio al 30-35% a un recipiente de 10 litros de capacidad y disuélvalo bien.



Figura 17 Preparación de solución de hipoclorito de calcio

- c) Con la solución y un trapo frote el interior de los tanques.



Figura 18 Frotación con un trapo

Frecuencia limpieza y desinfección. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando la planta va estar parada por una semana o más.
- Cada mes


Utilice ficha MP21

Materiales	Hipoclorito de calcio.
Equipos	Paleta pequeña, recipiente de 10 litros o más, trapo, balde, cepillo. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma.

Fuentes específicas para este procedimiento:

CEPIS. Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento. 2005

Frecuencias impuestas con criterio personal

	Procedimiento	Código: P22
	Floculador	Fecha: 07/08/2019



Floculador P22

Objetivo

Dejar el floculador en un estado adecuado para su utilización.

Actividades

Nota: Para realizar este procedimiento la PTA debe estar parada.

Inspección

- Verifique que no existan fugas, grietas en el floculador.
Alrededor de fugas existe humedad.
- Verifique que las pantallas estén en buen estado y en su posición correcta.
No debe existir filtraciones en las uniones entre pantallas-paredes y pantallas-piso.

Reacción:

- Cambie las pantallas que estén en mal estado
- Fije las pantallas desubicadas aplicando el correcto sistema de sujeción. (vea planos)
- Selle las uniones que presentan filtraciones con silicón.

Frecuencia inspección. Cada semana

Drenaje

- Abra la válvula de drenaje, VD3, para la evacuación de agua de la unidad.
Frecuencia drenaje. Aplique la actividad en cualquiera de los siguientes casos:
 - Cada vez que se dé una para de la PTA
 - Cada semana

Limpieza de la unidad

- a) Drene la unidad
- b) Con palas, cubetas, baldes remueva los sedimentos del fondo, empujándolos con una escoba hacia el drenaje.



Figura 19 Limpieza floculador mediante escoba y baldes de agua dirigiendo hacia el drenaje

- c) Raspe el fondo y paredes de la unidad para dejarlo libre de lodo.



Figura 20 Raspado de paredes del floculador con un cepillo

- d) Con una manguera a presión rocíe las paredes y el fondo dirigiendo la suciedad al drenaje desprendiendo el material adherido utilizando una escobilla.
- e) Mediante chorros de agua a presión desprender lodos de pantallas, también utilizar una escoba y cepillo.

Frecuencia limpieza: Cada semana

Desinfección de la unidad

- a) Drene la unidad
- b) Limpie la unidad
- c) Eche dos cucharas (20 g) de hipoclorito de calcio al 30-35% a un recipiente de 10 litros de capacidad y disuélvalo bien.



Figura 21 Preparación de solución de hipoclorito de calcio

- d) Con la solución frote el interior de la unidad.



Figura 22 Frotación

- e) Con la solución de frote las pantallas.
f) Remueva algas de las pantallas mediante un cepillo.

Frecuencia desinfección. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando se ve presencia de algas en el tanque
- Cada 6 meses

Mantenimiento preventivo específico

- a) Coloque impermeabilizante en la base del floculador

Frecuencia. Cada año


Utilice Ficha MP22

Materiales	Hipoclorito de calcio, impermeabilizante.
Equipos	Paleta pequeña, recipiente de 10 litros o más, trapo, balde, cepillo, escoba, manguera. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma, botas.

Fuentes específicas para este procedimiento:

CEPIS. Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento. 2005

Frecuencias impuestas con criterio personal

	Procedimiento	Código: P23
	Sedimentador	Fecha: 07/08/2019



Sedimentador P23

Objetivo

Dejar la cámara de sedimentación en un estado adecuado para su utilización.

Actividades

Nota: Para realizar este procedimiento la PTA debe estar parada.

Inspección

- Verifique que no existan fugas, grietas en el sedimentador.
Alrededor de fugas existe humedad.
- Verifique que las placas estén en buen estado y en su posición correcta.
Reacción:
 - Cambie las placas que estén en mal estado
 - Fije las placas desubicadas aplicando el correcto sistema de sujeción. (vea planos)

Frecuencia inspección. Cada semana

Drenaje y extracción de los lodos del sedimentador

- Abra la válvula de drenaje para la evacuación de lodos
- Prenda la bomba sumergible de lodos mientras se drena el sedimentador.
Frecuencia drenaje y extracción de lodos. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:
 - Cada vez que el nivel de lodos del sedimentador sea mayor a 50 cm medidos desde la base de la tolva.
 - Cuando la planta va estar parada por una semana o más.
Nota: Cuando la PTA va a estar parada por un tiempo menor a una semana no drenar la unidad, agregar cloro en una concentración de 50 mg/l cada día.

Limpieza del sedimentador

- Drene y extraiga los lodos del sedimentador.
- Retire las placas del sedimentador necesarias para poder ingresar al fondo de la tolva.
- Con palas, cubetas, baldes remueva los sedimentos del fondo, empujándolos hacia el drenaje.
- Raspe el fondo del tanque para dejarlo libre de lodo.
- Con un chorro de agua a presión rocíe las paredes y el fondo dirigiendo la suciedad al drenaje desprendiendo el material adherido utilizando una escobilla
- Las pantallas se limpian con chorros de agua a presión y cepillos para remover el lodo. No pararse en las pantallas.

Frecuencia limpieza. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:

- Cada mes
- Cada que se dé una situación indicada en el procedimiento P14

Desinfección

- Drene la unidad (actividad a) de este procedimiento)
- Limpie la unidad (actividad b) de este procedimiento)
- Eche dos cucharas de hipoclorito de calcio al 30-35% a un
- recipiente de 10 litros de capacidad y disuélvalo bien.
- Con la solución frote el interior de la unidad.
- Con la solución frotar las placas.
- Remueva algas de las placas mediante un cepillo.

Frecuencia desinfección. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando se vea presencia de algas en el tanque
- Cada 6 meses

Utilice Ficha MP23

Nota1: Vea figuras del procedimiento P22


Nota2: Los lodos contienen bacterias virus y protozoario. Tener especial cuidado en la remoción. Utilice la protección adecuada.

Materiales	Hipoclorito de calcio
Equipos	Paleta pequeña, recipiente de 10 litros o más, trazo, balde, cepillo, escoba, manguera. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma, botas.

Fuentes específicas para este procedimiento:

CEPIS. Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento. 2005

Frecuencias impuestas con criterio personal

	Procedimiento	Código: P24
	Filtros	Fecha: 07/08/2019



Filtros P24

Objetivo

Funcionamiento adecuado de filtros

Actividades

Nota: Para realizar este procedimiento la PTA debe estar parada.

Inspección. Mantenimiento preventivo

- a) Revise la estructura para verificar que no exista fugas, daños o deterioro

Reacción: Solicite su reparación. Llene ficha SE01.

Frecuencia: Cada semana

- b) Destape los filtros. Verifique:

- Que la cantidad de material filtrante no haya disminuido, para ello mida introduciendo una varilla el espesor de la capa de material, debe tener un espesor mayor a 40 cm.
- La capa superior del material filtrante no debe ser irregular, sino regúlela.
- No exista bolas de lodo visibles formadas en el material filtrante. Si existen solicite inspección de supervisor.

Frecuencia. Aplique esta actividad en cualquiera de los siguientes casos:


- Cuando perciba una disminución en la eficiencia de los filtros
- Cada 6 meses.

- c) Pinte las estructuras de acero

Frecuencia: Cada año

Utilice ficha MP24

Materiales	Pintura, brocas.
Equipos	Varilla, baldes, flexómetro, paleta. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma, botas.

	Procedimiento	Código: P25
	Tanques de agua: cruda, sedimentada, filtrada y los tanques de almacenamiento agua tratada	Fecha: 07/08/2019



Tanques de agua: cruda, sedimentada, filtrada y los tanques de almacenamiento agua tratada P25

Objetivo

Dejar los tanques en un estado adecuado para su utilización.

Actividades

Nota: Para realizar este procedimiento la PTA debe estar parada.

Cada vez que se vaya a proceder al drenaje del tanque de agua filtrada y del tanque de almacenamiento de agua tratada, se debe pedir la autorización al jefe de la CTD.

Inspección

- Revise si existen filtraciones, fugas, grietas en la estructura. Existencia de humedad en las paredes externas.

Reacción:

Solicite reparación. Utilice ficha SE01

Frecuencia inspección. Cada Semana

Drenaje

- Cierre la entrada de agua al tanque: Cierre válvulas y pague bombeo.
- Apague todas las bombas de recirculación (bomba 1R, bomba 2R y bomba 3R) mediante los botones de apagado de la caja de control (botón "Bomba #1 de recirculación" botón "bomba #2 de recirculación y botón "Bomba #3 de recirculación")
- Abra la válvula de drenaje para la evacuación.
 - Tanque de agua cruda (válvula VD2)
 - Tanque de agua sedimentada (válvula de desagüe del tanque)
 - Tanque de agua filtrada (válvula de desagüe del tanque)
 - Tanques de almacenamiento (válvulas de desagüe de los tanques)
- Prenda la bomba sumergible de lodos mientras se drena el sedimentador.

Frecuencia drenaje. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:

Tanque de agua cruda y tanque de agua sedimentada:

- Cuando la planta va estar parada por una semana o más.
- Cada mes

Tanque de agua filtrada y tanques de almacenamiento:

- Cada 6 meses previa autorización

Limpieza de los tanques

- a) Drene el tanque (actividad a) de este procedimiento)
- b) Con palas, cubetas, baldes remueva los sedimentos del fondo, empujándolos hacia el drenaje.
- c) Raspe el fondo del tanque para dejarlo libre de lodo.
- d) Con una manguera a presión rociar las paredes y el fondo dirigiendo la suciedad al drenaje desprendiendo el material adherido utilizando una escobilla y cepillos.

Frecuencia limpieza.

Tanque de agua cruda y tanque de agua sedimentada:

Cada mes

Tanque de agua filtrada y tanques de almacenamiento:

Cada 6 meses

Desinfección de los tanques

- a) Drene el tanque
- b) Limpie el tanque
- c) Eche dos cucharas con hipoclorito de calcio al 30-35% a un recipiente de 10 litros de capacidad y disuélvalo bien.
- d) Con la solución frote el interior del tanque.
- e) Prepare una solución de hipoclorito de calcio al 30-35% de acuerdo con el volumen del tanque con una concentración de 50 ppm.
- f) Disuélvalo bien.
- g) Llene el tanque hasta la mitad de su capacidad y eche poco a poco la solución de hipoclorito de calcio, procurando que se disuelva bien.
- h) Llene completamente el tanque.
- i) Deje la solución de hipoclorito de calcio en el reservorio durante cuatro (4) horas por lo menos.
- j) Transcurrido ese tiempo, drene el tanque.

Frecuencia desinfección. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando se vea presencia de algas en el tanque
- Cada 6 meses

Mantenimiento preventivo

- a) Pinte el exterior e interior de la estructura con pintura adecuada.
Frecuencia: Cada año

Mantenimiento específico Tanque de almacenamiento

- a) Revise si el tanque contiene sedimentos.
Reacción:
Realice la limpieza del tanque
Frecuencia:
Cada semana
- b) Retire sedimentos mediante un filtro para agua
Frecuencia
Cada semana


Utilice ficha MP25

Materiales	Hipoclorito de calcio
Equipos	Paleta pequeña, recipiente de 10 litros o más, trapo, balde, cepillo, escoba, manguera, filtro para agua. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma, botas.

Fuentes específicas para este procedimiento:

CEPIS. Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento. 2005

Frecuencias impuestas con criterio personal

	Procedimiento	Código: P26
	Tanques, canales y demás instalaciones de la PTA	Fecha: 07/08/2019



Tanques, canales y demás instalaciones de la PTA P26

Objetivo

Dejar los tanques, canales y demás instalaciones que se requieran en un estado adecuado para su utilización.

Alcance

Este procedimiento se aplica para tanques, canales e instalaciones de la PTA que requieran mantenimiento, a excepción de: tanque de agua cruda, tanque de agua sedimentada, tanque de agua filtrada, tanque de almacenamiento de agua tratada, tanques de solución de coagulante.

Actividades

Nota: Para realizar este procedimiento la PTA debe estar parada.

Inspección

- Verifique que no existan filtraciones, verifique que no existan grietas en la estructura. Revise que no exista humedad por afuera de la estructura.

Reacción:

- Solicite reparación
- Informe al jefe de CTD.

Frecuencia inspección. Cada semana

Drenaje

- Si existe, abra la o las válvulas de drenaje para la evacuación de agua de la unidad, caso contrario saque el agua con un balde.

Frecuencia drenaje. Aplique esta actividad en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando la planta va estar parada por una semana o más.
- Cada semana

Limpieza

- a) Drene la unidad
- b) Con palas, cubetas, baldes remueva los sedimentos, empujándolos hacia el drenaje.
- c) Raspe el fondo de la unidad para dejarlo libre de lodo.
- d) Con una manguera a presión rocíe las paredes y el fondo dirigiendo la suciedad al drenaje desprendiendo el material adherido utilizando una escobilla.

Frecuencia limpieza: Cada semana

Desinfección

- a) Drene el tanque
- b) Limpie el tanque
- c) Eche dos cucharas con hipoclorito de calcio al 30-35% a un recipiente de 10 litros de capacidad y disuélvalo bien.
- d) Con la solución frote el interior de la unidad.

Frecuencia desinfección. Aplique estas actividades en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando se vea presencia de algas en el tanque
- Cada 6 meses

Mantenimiento preventivo

- a) Coloque material anti filtrante en las bases de las estructuras que ya lo tengan actualmente.


Frecuencia: Cada año

- b) Pinte el exterior e interior de la estructura con pintura adecuada

Frecuencia: Cada año

Utilice ficha MP26

Materiales	Hipoclorito de calcio, anti filtrante, Pintura.
Equipos	Paleta pequeña, recipiente de 10 litros o más, trapo, balde, cepillo, escoba, manguera, filtro para agua. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma, botas.

	Procedimiento	Código: P27
	Estación de bombeo	Fecha: 07/08/2019



Estación de bombeo P27

Objetivo

Dejar el tanque de la estación de bombeo en un estado adecuado para su utilización.

Descripción

El tanque de la estación de bombeo acumula lodos, esta condición genera o puede generar problemas como: reducción en su capacidad de almacenamiento, contaminación del agua cruda, daño en el sistema de bombeo. Por lo que, se debe extraer los lodos.

Nota: En este procedimiento se necesita además del operador un albañil.

Actividades

Drenaje, extracción de lodos y limpieza

- Verifique que esté cerrado el paso de agua cruda proveniente desde la conducción a la estación de bombeo (válvula VP1), de no ser así, cerrarla.
- Verifique que estén apagadas las bombas de la estación de bombeo (bomba BE1, bomba BE2) de no ser así, apáguelas con los botones de la caja de control.
- Mueva el lodo del tanque con una pala o varilla para volverlo menos viscoso.
- Prenda la bomba de succión de lodos mediante el interruptor “Bomba sumergible” ubicado en la caja de control en la estación de bombeo.
- A medida que la bomba succiona los lodos vaya removiendo el agua con los lodos, si se hace una mezcla muy viscosa agregue agua desde la conducción o con una manguera para cambiar esta condición.

En caso de que la bomba disminuya notablemente la succión, pare el procedimiento y agregue agua al tanque para volver al lodo menos viscoso y remueva especialmente el lodo viscoso del área cercana al ingreso a la tubería de drenaje.

- f) Con una escobilla limpie las paredes y el fondo del reservorio con una manguera a presión hasta que quede limpio. Drene con la bomba sumergible el agua que se acumula al realizar esta limpieza.

Frecuencia procedimiento. Aplique el procedimiento en cualquiera de los siguientes casos:

- Cada mes
- Cada vez que la PTA se vaya a parar por más de un mes


Nota: La frecuencia puede variar, depende de la calidad del agua cruda, mientras más sedimentos tenga más pronto se deberá realizar el procedimiento y viceversa, frecuencia se cambia según criterio del operador.

Materiales	Ninguno
Equipos	Pala, varilla, manguera, escobilla

Fuentes específicas para este procedimiento:

CEPIS. Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores. 2005.

CEPIS. Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento. 2005.

	Procedimiento	Código: P28
	Válvulas	Fecha: 07/08/2019



Válvulas P28

Objetivo

Verificar que las válvulas que intervienen en los procesos referentes a este manual tengan un correcto funcionamiento.

Arreglar o solicitar cambio de válvulas en mal estado.

Definiciones

- Daño

Se da cuando una válvula no funciona adecuadamente, es decir:

- No regula adecuadamente el líquido o gas
- Se presenta fugas al exterior

- Causas de daño

Las causas de fallo más comunes son la corrosión; el desgaste; sobrepresión; conexiones defectuosas; obstrucciones; roturas, grietas o debilitamiento ya sea por vibraciones o por tensiones cíclicas.

- Clasificación de válvulas de la PTA de la CTD

Las válvulas se clasifican en grupos según su la frecuencia con la que se debe realizar su revisión.

Grupo A

Válvulas que siempre intervienen en el proceso de tratamiento.

Válvulas Grupo A		
VP1	VD2	CD2
VD1	VF1	VC2
Válvulas EB	VF2	VT5
Válvulas Sistema de dosificación	VF3	VT6
CD1	VC1	VS1
Válvula de extracción de lodos	VT3	VT4
VT7	VS2	VS3
VT8	VR1	VR2

Grupo B

Válvulas que no siempre se usan en el proceso de tratamiento

Válvulas grupo B. Resto de válvulas

Actividades

Inspección. Mantenimiento correctivo.

- Realice las siguientes verificaciones de funcionamiento de válvulas, en el caso de que no logre una verificación aplique las actividades de mantenimiento de válvulas para una posible solución.

Verificación del correcto funcionamiento de válvulas	Causa	Corrección
<p>Verifique de forma visual que no exista fugas al exterior en la válvula mientras se encuentra operando normalmente regulando flujo</p> <p><i>Frecuencia: Grupo A diaria Grupo B Mensual</i></p>	<p>Corrosión</p> <p>Sobrepresión</p> <p>Debilitamiento o desgaste de materiales</p> <p>Fallo mecánico</p>	<p>Revise que las juntas estén correctas</p> <p>Revise la presión en el conducto.</p> <p>Verifique el empaque de la válvula (de existir) y si lo considera reemplácelo.</p>
<p>Verifique de forma visual que no exista fugas al exterior con la válvula completamente cerrada</p> <p><i>Frecuencia Mensual</i></p>	<p>Tipo de válvula inadecuado</p> <p>Sobrepresión</p> <p>Obstrucción parcial que interrumpe el cerrado</p> <p>Debilitamiento o desgaste de materiales</p> <p>Bloqueo de la válvula</p> <p>Fallo mecánico</p>	<p>Compruebe que no se utilicen válvulas inadecuadas: Válvula de mariposa pueden no ser herméticas. Válvulas cónicas o de aguja son factibles solo para diámetros pequeños.</p> <p>Verifique el empaque de la válvula (de existir) y si lo considera reemplácelo.</p>

<p>Verifique que la válvula se pueda abrir y cerrar completamente, es decir que permita e impida el paso de la totalidad del flujo correspondientemente. Verificar que se pueda regular la cantidad de flujo de acuerdo con su función.</p> <p><i>Frecuencia Mensual</i></p>	<p>Bloqueo de la válvula Obstrucción parcial Sobrepresión</p> <p>Fallo mecánico</p>	<p>Solicite reparación</p>
<p>Verifique que la válvula no cambie la configuración que se le da para su operación, es decir que permita, interrumpa, se reduzca o aumente la cantidad de flujo repentinamente.</p> <p><i>Frecuencia: Grupo A Semanal Grupo B Mensual</i></p>	<p>Bloqueo de la válvula Obstrucción parcial Alteración en presión y caudal Fallo mecánico</p>	<p>Solicite reparación</p>
<p>Verifique de forma visual que no se presenten roturas o grietas en las válvulas</p> <p><i>Frecuencia Semanal</i></p>	<p>Corrosión Vibraciones Golpes</p>	<p>Identifique la causa de rotura o formación de grietas.</p>

Nota: En los casos que no se logre corregir el problema solicite reparación

Materiales: Válvula de repuesto, empaque de válvula.

Equipos: Herramienta menor para cambiar y arreglar válvulas

Nota: Se debe verificar si el daño es producido en las uniones con la válvula.

Utilice fichas PV01, PV02, PV03.

Mantenimiento preventivo de válvulas

a) Realice las siguientes actividades

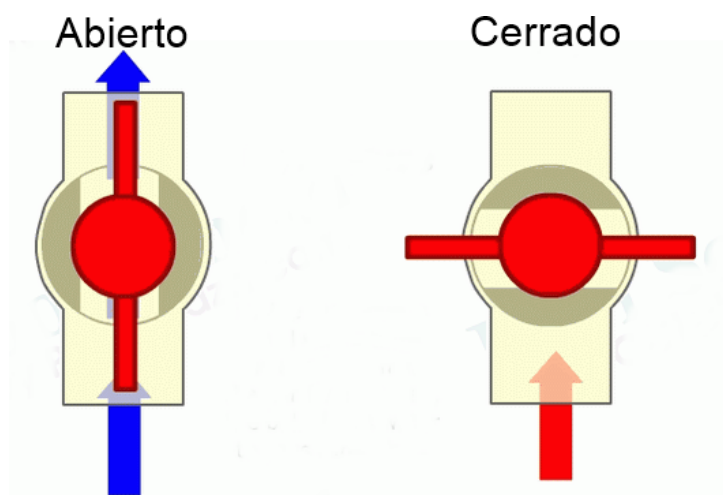
Frecuencia	Actividades	Materiales y Equipos
Semanal	<p>Aplique lubricante, engrase elementos de operación y los tornillos de montaje, utilice una brocha o cepillo.</p> <p>Grupo A</p>	<p>Materiales: Aceite</p> <p>Equipos: Herramienta menor</p>
	<p>Gire lentamente abriendo y cerrando las válvulas para evitar que se endurezcan.</p> <p>Grupo A</p>	

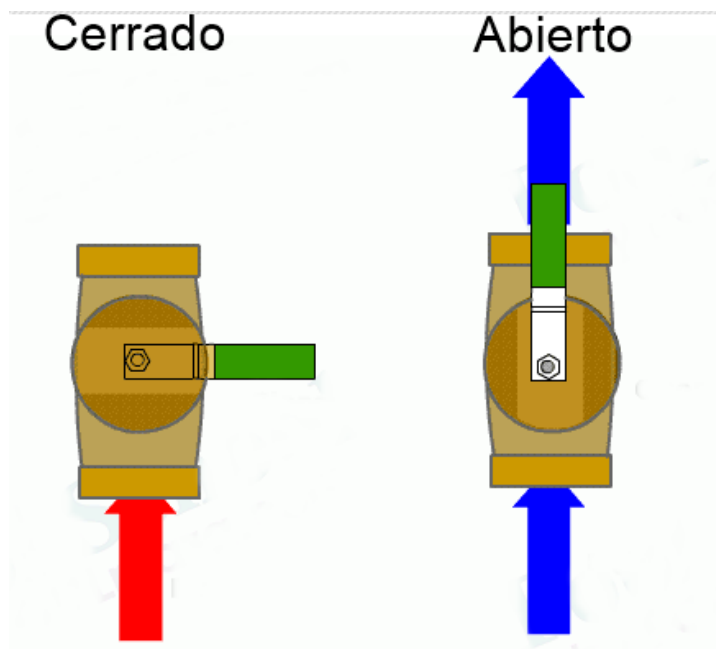
Mensual	Inspeccione las cajas en donde se encuentran las válvulas, observe anomalías como empozamiento de agua, tierra acumulada, elementos en mal estado, etc. Corrija el problema si es posible.	Equipos: pico, pala, herramienta menor.
	Aplique lubricante, engrase elementos de operación y los tornillos de montaje, utilice una brocha o cepillo. Grupo B	Materiales: Aceite Equipos: Herramienta menor
	Gire lentamente abriendo y cerrando las válvulas para evitar que se endurezcan. Grupo B	
Anual	Pinte las válvulas, así como las cajas de protección	Materiales: Pintura anticorrosiva, diluyente. Equipos: Herramienta menor, brocha.

Utilice Ficha PV01, PV02, PV03.

Operación


- a) Manipulación: en la figura se muestra la posición de la manija para abierto y cerrado de dos tipos de válvula





b) Cierre y abra las válvulas despacio.

Materiales	Los indicados.
Equipos	Los indicados. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de cuero, botas.

	Procedimiento	Código: P29
	Bombas	Fecha: 07/08/2019



Bombas P29

Objetivo

Verificar que las bombas que intervienen en los procedimientos de este manual estén condiciones de un correcto funcionamiento.

Buscar causas de fallos y de ser posible repararlos.

Identificar casos que impliquen reparaciones o reposiciones de bombas.

Definiciones

- Daño

Se da cuando una bomba no funciona adecuadamente, es decir:

- Se presenta variaciones del caudal bombeado
- Fallos en el funcionamiento normal del motor o la bomba por alteraciones en: vibración, goteo, temperatura, cebado
- Problemas con el encendido o apagado

- Causas de daño

Las causas de fallo más comunes son fallas eléctricas del motor de la bomba, desgaste, una incorrecta operación como una inadecuada sumergencia de la tubería de aspiración, cavitación.

Actividades

Inspección. Mantenimiento correctivo.

- a) Realice las siguientes verificaciones de funcionamiento de bombas, en el caso de que no logre una verificación aplique las actividades de mantenimiento de bombas para una posible solución.

Verificación de funcionamiento de bombas	Causa	Corrección
Mida el caudal bombeado y compruebe que no varíe del normal. Compruebe que no exista baja presión. Realizar esta actividad con el procedimiento detallado a continuación de esta tabla. <i>Frecuencia: Cada 6 meses</i>	Bomba no cebada Falla en el motor	Realice la actividad de cebado de la bomba detallado más adelante en este procedimiento.
	Conducto de rodete obstruido	Solicite reparación
	Poca sumergencia de la tubería de aspiración	Prolongue la tubería de aspiración para aumentar sumergencia
Mida el caudal bombeado y compruebe que no varíe del normal. Compruebe que no exista bajo caudal Realizar esta actividad con el procedimiento detallado a continuación de esta tabla. <i>Frecuencia: Cada 6 meses</i>	Válvulas del sistema de bombeo parcialmente obstruidas	Solicite reparación
	Poca sumergencia de la tubería de aspiración Falla en el motor	Prolongue la tubería de aspiración para aumentar sumergencia
	Fugas	Compruebe de forma visual que no exista fugas en el sistema
	Rodete parcialmente atascado	Solicite reparación
	Altura de aspiración grande	Disminuya la altura de aspiración
	Desgaste de piezas internas	Solicite reparación
Verifique visualmente que no exista variaciones en la vibración <i>Frecuencia: Cada mes</i>	Cimentación defectuosa	Ajuste la bomba correctamente.
	Desequilibrio del rodete	Solicite reparación
	Cavitación	Solicite reparación
Verifique visualmente que no exista goteo <i>Frecuencia: Cada mes</i>	Empaque desgastado	Solicite reparación
	Eje desgastado	Solicite reparación
	Cierre mecánico desgastado	Solicite reparación
Verifique mediante el tacto variaciones en la temperatura. <i>Frecuencia: Cada mes</i>	Mal engrase	Revise la calidad de la grasa aplicada. Reponga el nivel de grasa.
	Las tuberías producen tensiones en la bomba	Suelde las tuberías ajustándolas de manera que no se produzca empujes sobre la bomba.

Nota1: En los casos que no se logre corregir el problema solicite reparación

Utilice fichas PB01, PB02.

Medición de caudal de bombas

Para medir el caudal de bombeo de bombas, con excepción de las bombas de lodo, se sigue el siguiente procedimiento:

Medir la variación del nivel del tanque donde se aspira durante un minuto.

Determinar el volumen, V, que se bombea en un minuto con la siguiente ecuación

$$V = A * \Delta H$$

Donde:

V: Volumen de agua bombeado en un minuto

A: Área del tanque donde se aspira

ΔH : Variación del nivel de agua del tanque donde se aspira en un minuto

Determinar el caudal, Q, que se bombea con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q: Caudal de bombeo

V: Volumen de agua bombeado en un minuto

T: Tiempo 1 minuto (poner en unidades que se requiera)

Nota: Se debe verificar si el daño es producido en las uniones con la bomba.

Cebado de bombas

Consiste en la eliminación de aire contenido en el interior del sistema de bombeo, mediante el llenado con agua la tubería de aspiración succión y la carcasa de la bomba.

Se sigue el siguiente procedimiento:

1. Verifique que la bomba esté apagada
2. Desajuste la tuerca que se encuentra en el frente del artefacto con una llave.
3. Cargue agua de a poco hasta llenar la bomba.
4. Una vez que el agua rebosa por el agujero de la tuerca, cierre la tuerca, encienda la bomba.
5. Compruebe que la bomba funcione correctamente.


La bomba se ceba cuando se nota una disminución en el caudal o la presión con la que bombea.

Materiales	Tubería, grasa.
Equipos	Herramienta menor. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de cuero, botas.

Fuentes específicas para el procedimiento:

<http://www.benoit.cl/Manual.htm>

Frecuencia según la probabilidad que hay de que se dé un problema, criterio personal.

	Procedimiento	Código: P30
	Tuberías	Fecha: 07/08/2019



Tuberías P30

Objetivo

Buen estado de tuberías

Definiciones

c) Daño

Se da cuando una tubería no funciona adecuadamente, es decir:

- No conduce el flujo total o parcialmente.
- Se presenta fugas al exterior

d) Causas de daño

Los principales problemas que se producen son obstrucciones, fallas en la sujeción, presencia de aire, roturas.

Actividades

Inspección.

a) Verifique los sistemas de sujeción de las tuberías.

Reacción:

Asegure la sujeción de las tuberías

Frecuencia: Cada semana

- b) Verifique que no existan fugas, grietas roturas en las tuberías.
Las fugas pueden detectarse por existencia de humedad en el alrededor.
Reacción:
Repáre de inmediato, si no se dispone de repuesto solicite repuesto de tubería.
Frecuencia: Cada semana


Utilice ficha PT01

Mantenimiento preventivo

- a) Pinte el exterior de las tuberías de acero.
Frecuencia: Cada año
- b) Realice una limpieza general de las cajas de revisión. Retire maleza, lodo acumulado.
Frecuencia: Cada semana

Utilice ficha PT02

Materiales	Pintura, materiales para la sujeción de tuberías: tuercas, tornillos, etc.
Equipos	Herramienta menor, brocha. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de cuero.

	Procedimiento	Código: P31
	Rejillas	Fecha: 07/08/2019



Rejillas P31

Objetivo

Dejar las rejillas en buen estado.

Actividades

Nota: Para realizar este procedimiento la PTA debe estar parada.

Inspección

- a) Verifique el buen estado de la rejilla, que no esté rota. Si ve la rejilla rota no intente repararla, reemplácela por una que no presente daños y solicite una nueva. Utilice Ficha SE01.
Frecuencia: Cada semana

Limpieza


- a) Limpie las rejillas del canal de agua cruda (rejilla 1) y del canal de agua sedimentada (rejilla 2)
- Retire las rejillas
 - Limpie con un chorro de agua a presión y mediante un cepillo con movimientos circulares ejerciendo la presión necesaria para desalojar partículas, pero sin deformar la rejilla.
 - Coloque las rejillas

Frecuencia limpieza. Aplique esta actividad en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando la planta va a estar parada por más de una semana.
- Cada semana.

Utilice ficha MP31

Materiales	Ficha MP31
Equipos	Manguera, cepillo. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma, botas.

	Procedimiento	Código: P32
	Instalaciones en general	Fecha: 07/08/2019



Instalaciones en general P32

Objetivo

Conservar de instalaciones

Actividades

- a) Revise que no exista daños en las instalaciones. Revise todo el recorrido de tratamiento del agua y demás instalaciones de la PTA.

Frecuencia. Aplique esta actividad en cualquiera de los siguientes casos:

- Cada vez de puesta en marcha de la PTA
- Cada mes

- b) Retire maleza. Esta puede crecer también en los alrededores de las estructuras de hormigón

Frecuencia:

Cada semana

- c) Limpie las instalaciones, barra, retire polvo, escombros.

Frecuencia:

Cada semana

- d) Realice mantenimiento de área verde

Frecuencia:

Cada semana


- e) Pinte las instalaciones:

- Paredes exteriores de los tanques, canales, entre otras estructuras.
- Pasamanos.
- Paredes de cuartos de almacenamiento, laboratorio.

Frecuencia: Cada año

Materiales	Ficha MP32, pintura
Equipos	Herramientas de jardinería, escoba, trapo, cepillo, brocha, baldes. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma, guantes de cuero, botas, protector de ojos, mascarilla.

Procedimientos de control de calidad

	Procedimiento	Código: P33
	Toma de muestra de agua y determinación su turbiedad	Fecha: 07/08/2019



Toma de muestra de agua y determinación su turbiedad P33

Objetivo

Determinar la turbiedad de una muestra de agua para utilizar este dato en procedimientos o para comprobar que las unidades estén produciendo la turbiedad adecuada.

Actividades

Muestreo

- Realice la toma de muestras de forma manual, mediante recipientes de una capacidad que puede ser desde 125 ml hasta 400 ml.
- Tome las muestras sumergiendo el recipiente en la unidad. No tome de manera superficial.
- Lleve las muestras al laboratorio de la PTA.

Prueba de laboratorio

- Determine la turbiedad de agua mediante el turbidímetro nefelométrico (según indique manual del equipo).

Utilice para el registro de la turbiedad la ficha RP33.

Materiales	Ficha RP33, recipientes para toma de muestras.
Equipos	Turbidímetro nefelométrico, materiales de laboratorio. Protección personal: Casco de seguridad, overol industrial, guantes de goma, botas.

Codificación de accesorios de red de tuberías operables de la PTA

El nombre está compuesto de 2 letras y 1 número

La primera letra indica el accesorio, la segunda a está relacionada a la función y el número distingue entre varios accesorios del mismo sistema.

VP Válvula de paso conducción

VD Válvula de purga o desagüe

VC Válvula del sistema de recirculación CTD

VI Válvula de interconexión de tanques de almacenamiento

VL Válvula de sistema de desinfección

VS Válvula agua filtrada

VA Válvula sistema de dosificación de coagulante

VR Válvula sistema de retrolavado de filtros

VT Válvula tanques de filtración

VU Válvula agua para usos generales

BR Bomba de retrolavado de filtros

BF Bomba de filtros

BE Bomba de estación de bombeo

BU Bomba agua para usos generales

BC Bomba de sistema de recirculación CTD

BS Bomba agua filtrada

MR Motor de bomba de retrolavado de filtros

MF Motor de bomba de filtros

ME Motor de bomba de estación de bombeo

MU Motor de bomba agua para usos generales

MC Motor de bomba de sistema de recirculación CTD

MS Motor agua filtrada

Cajas de control

Descripción

Existen dos cajas de control de la PTA.

- 1) Caja de control general
Está ubicada en la caseta de almacenamiento.
- 2) Caja de control estación de bombeo
Está ubicada en la estación de bombeo

Las cajas de control tienen en general para cada elemento cuatro accionantes:

- 1) Botón de encendido
- 2) Botón de apagado
- 3) Perilla: Modo automático-Modo manual
- 4) Botón de apagado de emergencia

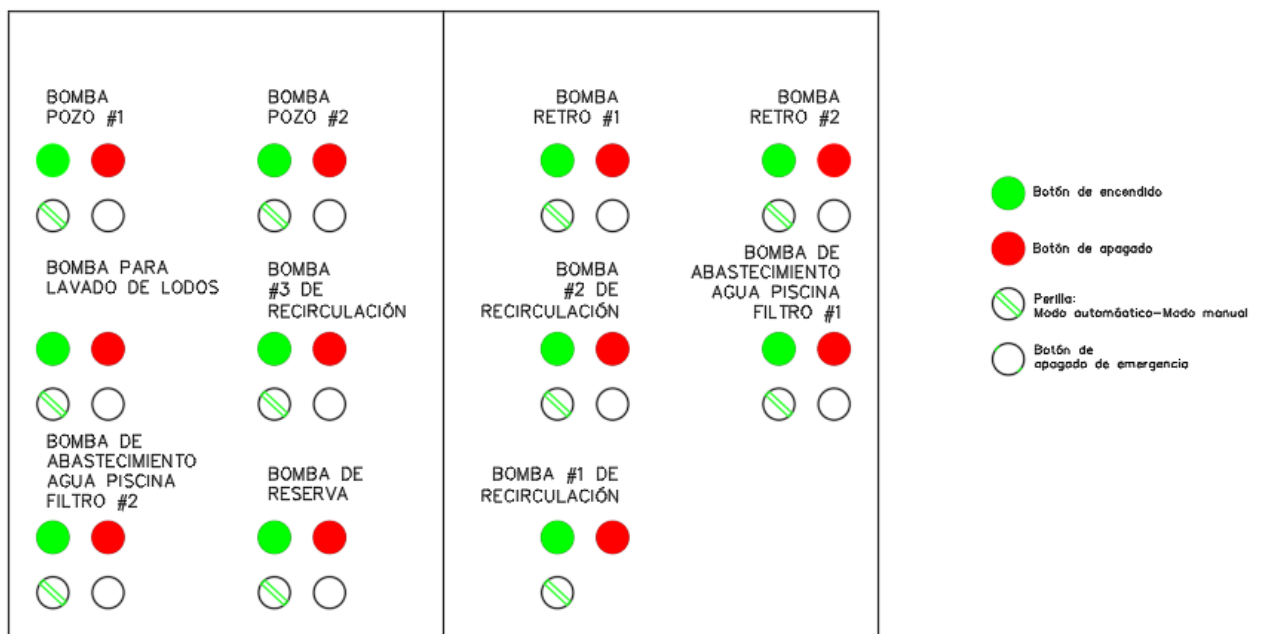


Figura 23 Caja de control general

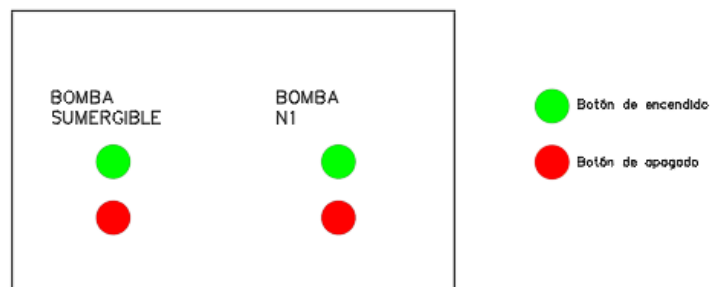


Figura 24 Caja de control estación de bombeo

Abreviaturas y símbolos

Abreviatura de unidades de medida.	
Abreviatura	Unidad
L	Litro
S	Segundo
Cm	Centímetro
M	Metro
G	Gramo
H	Hora
Min	Minutos

Abreviaturas	
Abreviatura	Significado
T.T.	Trabajo de titulación
PTA	Planta de tratamiento de agua
CTD	Central termoeléctrica El Descanso
S.A.	Sociedad anónima
EPTA	Evaluación de planta de tratamiento de agua
EB	Estación de bombeo

Símbolos	
Símbolo	Significado
M	Parámetro específico para ecuación de aforo de caudal con vertederos
Q	Caudal
H	Nivel de agua

En cada procedimiento constan símbolos en referencia al tipo de actividades:



Manipulación de equipos



Planificación



Uso de equipos varios



Mantenimiento



Control



Registros



Alerta

Fichas de registro

<div> <div>Ficha de registro RP01P02</div> <div>No</div> </div>									
<div>Inspección para la puesta en marcha de la PTA</div>									
Operador:					Fecha de puesta en marcha:			/ /	
Clima:	Soleado		Nublado		Lluvioso				
Actividades							Cumple	Detalle del daño -Elemento con daño -Condición en la que se encuentra	
a) De forma visual se verifica que no existen daños en las instalaciones									
Conducción									
No existe fugas									
Buen estado físico									
Estación de bombeo (EB)									
Buen estado físico									
Conducción (EB – tanque de recepción de agua cruda)									
No existe fugas									
Buen estado físico									
Tanque de agua cruda									
Buen estado físico									
Canal (tanque de recepción de agua cruda – cámara de mezcla rápida)									
Buen estado físico									
Cámara de mezcla rápida									
Buen estado físico									
Instalaciones de dosificación de coagulante									
Buen estado físico de los tanques									
Buen estado físico de la canaleta dosificadora									
No existe fugas en los tanques									
Floculador									
Buen estado físico									
Buen estado físico de las Pantallas									
Sedimentador									
Buen estado físico									
Buen estado físico de las placas									
Colocadas bien todas las placas									
Buen estado de las tuberías recolectoras									
Canal de agua sedimentada									
Buen estado									
Tanque de agua sedimentada									
Buen estado físico									
Filtros									
Buen estado físico									

Tanque de agua filtrada		
Buen estado físico		
Instalaciones de dosificación de cloro		
Buen estado físico		
Tanques de almacenamiento		
Buen estado físico		
No existen fugas en ninguna instalación		
Tuberías en buen estado físico		
Válvulas en buen estado físico		
Bombas en buen estado físico		
Todos los elementos para el funcionamiento de la PTA estén en su sitio		
b) Las siguientes operaciones de mantenimiento estén realizadas conforme a su frecuencia:		
Válvulas. Procedimiento P28. (Revisar que el procedimiento esté al día según las fichas de registro: PV01, PV02, PV03, PV04)		
Bombas. Procedimiento P29. (Revisar que el procedimiento esté al día según las fichas de registro: PB01, PB02)		
Tuberías. Procedimiento P30. (Revisar que el procedimiento esté al día según las fichas de registro: PT01, PT02)		
c) Existe sustancias químicas en esta cantidad:		
Sulfato de aluminio: mínimo 500 kg		
Cloro: mínimo 1 cilindro de 68 kg		
d) Se cuenta con los requerimientos previos (realizar una revisión de la lista expuesta en la actividad d) del procedimiento P01 para verificar que elementos esenciales no falten)		
e) Instalaciones limpias		
f) Instalaciones libres de escombros y sustancias que impliquen peligro de contaminación en la planta		
g) Las siguientes operaciones de mantenimiento estén realizadas conforme a su frecuencia. (Revisar que el procedimiento esté al día según las fichas de registro indicadas)		
Estación de bombeo. Procedimiento P27. (Revisar registro de fichas MP27)		
Tanques de agua: cruda, sedimentada, filtrada y los tanques de almacenamiento agua tratada. Procedimiento P25. (Revisar registro de fichas MP25)		
Rejillas. Procedimiento P31. (Revisar registro de fichas MP31)		
Tanques, canales e instalaciones que lo requieran. Procedimiento P26. (Revisar registro de fichas MP26)		
Tanques de solución de coagulante. Procedimiento P21. (Revisar registro de fichas MP21)		
Floculador. Procedimiento P22. (Revisar registro de fichas MP22)		
Sedimentador. Procedimiento P23. (Revisar registro de fichas MP23)		

Filtros. Procedimiento P24 (Revisar registro de fichas MP24)		
h) Turbiedad del agua cruda es menor de 835 UNT		
Aceptabilidad para la puesta en marcha Determinar la aceptabilidad de las instalaciones de la PTA para su puesta en marcha en base a la inspección, criterio del operador siguiendo lo que se define en los procedimientos P01 y P02.		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Cumple </div> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> No cumple, pero la PTA si puede funcionar </div> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> No cumple. No se puede poner en marcha la PT </div> </div>		
Observaciones:		
Firma operador:		

*El buen estado físico comprende: que no haya fisuras o daños en general en las estructuras de hormigón, en las tuberías y accesorios.

Ficha de registro RP05			Nº
Medición de Caudal			
Operador:			
Dato tomado	Resultado calculado	Fecha Hora	Observaciones
H Nivel de agua en la regleta (cm)	Q Caudal que entra a la PTA (l/s)		
		/ / :	
		/ / :	
		/ / :	
		/ / :	
		/ / :	
		/ / :	
		/ / :	
		/ / :	
		/ / :	
Observaciones generales:			
Firma operador:			

Ficha de registro RE01			Nº
Eventualidad en la PTA			
Operador:			Fecha: / /
Procedimiento que se encontraba realizando al momento que se detectó la eventualidad:			
Eventualidad presentada	Equipo afectado (si existe)	Reacciones efectuadas ante la eventualidad	Solicitudes que realiza
Observaciones generales:			
Firma operador:			

Ficha de registro RA01						Nº	
Programación de actividades de mantenimiento y operación							
Personal encargado:						Fecha: / /	
Clima:		Soleado		Nublado		Lluvioso	
Equipo/instalación	Falla	Actividades que realizar				Tiempo estimado	
Anotaciones generales:							
Firma operador:							

Ficha de registro RP16														№																		
Retrolavado de filtros																																
Operador:																																
Actividades										Fecha/hora																						
Retrolavado de filtros																																
Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):																																
Firma operador:																																

Ficha de solicitud SP07		Nº	
Determinación de características del Sulfato de Aluminio			
Operador solicitante:		Fecha:	/ /
Proveedor:			
<p>Se solicita:</p> <p>Determinar las siguientes características de una muestra del sulfato de aluminio mediante ensayos de laboratorio y comprar con las especificaciones requeridas en la PTA de la CTD que se muestran a continuación.</p>			
Parámetro			Especificaciones requeridas
Impurezas objetables			No
Granulometría			90% pasa tamiz #10
Contenido de Aluminia	Al_2O_3		17%
	Al soluble en el agua		9%
Contenido de hierro Fe_2O_3			0.75%
Insolubles suspendidos	Sin purificar		10%
	Purificado		0.5%
<p>El producto debe ser:</p> <p>Tipo: A</p> <p>Estado: Granular</p>			
Observaciones generales:			
Firma operador:			

Ficha de solicitud SE01			Nº	
Solicitud de adquisición de elementos para la PTA				
Operador solicitante:			Fecha:	/ /
Equipo o material necesario o que necesita reparación:				
Cantidad	#			
Razón de solicitud (Si existe un daño especifíquelo):				
Observaciones generales:				
Firma operador:				

Ficha de registro MP21														Nº					
Mantenimiento Tanques de solución de coagulante																			
Operador:																			
Actividades		Fecha (Coloque la fecha al estar cumplida la actividad)																	
Cada semana																			
Inspección a) Verifique que no existan daños en los tanques, fisuras.																			
Cuando la planta va estar parada por una semana o más o cada mes																			
Drenaje																			
Limpieza y desinfección																			
Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):																			
Firma operador:																			

Ficha de registro MP22														Nº					
Mantenimiento Floculador																			
Operador:																			
Actividades		Fecha (Coloque la fecha al estar cumplida la actividad)																	
Cada semana																			
Inspección a) Verifique que no existan fugas, grietas en el floculador. b) Verifique que las pantallas estén en buen estado y en su posición correcta.																			
Cuando la planta va estar parada por una semana o más o cada mes																			
Drenaje																			
Limpieza																			
Desinfección																			
Cada año																			
Mantenimiento preventivo específico a) Coloque impermeabilizante en la base del floculador																			

Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):
Firma operador:

Ficha de registro MP23														Nº				
Mantenimiento Sedimentador																		
Operador:																		
Actividades		Fecha (Coloque la fecha al estar cumplida la actividad)																
Cada semana																		
Inspección a) Verifique que no existan fugas, grietas en el sedimentador. b) Verifique que las placas estén en buen estado y en su posición correcta.																		
Cada vez que el nivel de lodos del sedimentador sea mayor a 50 cm medidos desde la base de la tolva o cuando la planta va estar parada por una semana o más.																		
Drenaje y extracción de los lodos del sedimentador																		
Limpieza																		
Desinfección																		
Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):																		

Firma operador:

Ficha de registro MP24														Nº				
Mantenimiento Filtros																		
Operador:																		
Actividades		Fecha (Coloque la fecha al estar cumplida la actividad)																
Cada semana																		
Inspección. Mantenimiento preventivo a) Revise la estructura para verificar que no exista fugas, daños o deterioro																		
Cuando perciba una disminución en la eficiencia de los filtros o cada 6 meses.																		
Inspección. Mantenimiento preventivo b) Destape los filtros. Verifique: <ul style="list-style-type: none"> • Que la cantidad de material filtrante no haya disminuido, debe tener un espesor mayor a 40 cm. • La capa superior del material filtrante no debe ser irregular. • No exista bolas de lodo visibles formadas en el material filtrante. 																		
Cada año																		
Mantenimiento preventivo c) Pinte las estructuras de acero																		

Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):
Firma operador:

Ficha de registro MP25														Nº					
<p align="center">Mantenimiento</p> <p align="center">Tanques de agua: cruda, sedimentada, filtrada y los tanques de almacenamiento agua tratada</p>																			
Operador:																			
Actividades		Fecha (Coloque la fecha al estar cumplida la actividad)																	
Cada semana																			
Inspección a) Revise si existen filtraciones, fugas, grietas en la estructura.																			
Tanque de agua cruda y tanque de agua sedimentada: Cuando la planta va estar parada por una semana o más o cada mes																			
Drenaje																			
Tanque de agua filtrada y tanques de almacenamiento: Cada 6 meses previa autorización																			
Drenaje																			
Tanque de agua cruda y tanque de agua sedimentada: Cada mes																			
Limpieza																			

Tanque de agua filtrada y tanques de almacenamiento: Cada 6 meses					
Limpieza					
Cuando se vea presencia de algas en el tanque o cada 6 meses					
Desinfección					
Cada año					
Mantenimiento preventivo a) Pinte el exterior e interior de la estructura con pintura adecuada.					
Cada semana					
Mantenimiento específico Tanque de almacenamiento a) Revise si el tanque contiene sedimentos. b) Retire sedimentos mediante un filtro para agua					
Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):					
Firma operador:					

Ficha de registro MP26														Nº									
<p align="center">Mantenimiento Tanques, canales y demás instalaciones de la PTA</p>																							
Operador:																							
Actividades		Fecha (Coloque la fecha al estar cumplida la actividad)																					
Cada semana																							
Inspección a) Verifique que no existan filtraciones, verifique que no existan grietas en la estructura.																							
Drenaje																							
Limpieza																							
Cuando se vea presencia de algas en el tanque o cada 6 meses																							
Desinfección																							
Cada año																							
Mantenimiento preventivo a) Coloque material anti filtrante en las bases de las estructuras que ya lo tengan actualmente. b) Pinte el exterior e interior de la estructura con pintura adecuada																							

Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):
Firma operador:

Ficha de registro MP27														Nº													
Mantenimiento Estación de Bombeo																											
Operador:																											
Actividades										Fecha																	
Cada mes y cada vez que la PTA se vaya a parar por más de un mes																											
Drenaje, extracción de lodos y limpieza																											
Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):																											
Firma operador:																											

Ficha de mantenimiento PV01														Nº									
Mantenimiento de válvulas Inspección diaria																							
Operador:																							
Inspección																							
Actividades de Inspección Diaria		Fecha																					
		Cumplen todas las válvulas																					
Verifique de forma visual que no exista fugas al exterior en la válvula mientras se encuentra operando normalmente regulando flujo (Grupo A)		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Válvulas con daño																							
Código		Fecha de detección del daño				Ubicación								Daño/Observación									
Observaciones:																							
Firma operador:																							

Ficha de mantenimiento PV02														Nº	
Mantenimiento de válvulas Inspección semanal															
Operador:															
Inspección															
Actividades de inspección semanal	Fecha														
	Cumplen todas las válvulas														
Verifique que la válvula no cambie la configuración que se le da para su operación, es decir que permita, interrumpa, se reduzca o aumente la cantidad de flujo repentinamente. (Grupo A)	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si
Verifique de forma visual que no se presenten roturas o grietas en las válvulas	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si
Válvulas con daño															
Código	Fecha de detección del daño				Ubicación				Daño/Observación						
Observaciones:															
Firma operador:															

Ficha de mantenimiento PV03														Nº	
<p align="center">Mantenimiento de válvulas Inspección mensual</p>															
Operador:															
Inspección															
Actividades de inspección mensual	Fecha														
	Cumplen todas las válvulas														
Verifique de forma visual que no exista fugas al exterior en la válvula mientras se encuentra operando normalmente regulando flujo (Grupo B)	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si
Verifique de forma visual que no exista fugas al exterior con la válvula completamente cerrada	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si
Verifique que la válvula no cambie la configuración que se le da para su operación, es decir que permita, interrumpa, se reduzca o aumente la cantidad de flujo repentinamente. (Grupo B)	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si
Válvulas con daño															
Código	Fecha de detección del daño			Ubicación				Daño/Observación							

Observaciones:

Firma operador:

Ficha de registro PV04														Nº			
Válvulas Mantenimiento preventivo																	
Operador:																	
Actividades		Fecha															
Semanal																	
Aplique lubricante, engrase elementos de operación y los tornillos de montaje, utilice una brocha o cepillo. (Grupo A)																	
Gire lentamente abriendo y cerrando las válvulas para evitar que se endurezcan. (Grupo A)																	
Mensual																	
Inspeccione las cajas en donde se encuentran las válvulas, observe anomalías como empozamiento de agua, tierra acumulada, elementos en mal estado, etc. Corrija el problema si es posible.																	
Aplique lubricante, engrase elementos de operación y los tornillos de montaje, utilice una brocha o cepillo. (Grupo B)																	
Gire lentamente abriendo y cerrando las válvulas para evitar que se endurezcan. (Grupo B)																	
Anual																	
Pinte las válvulas, así como las cajas de protección																	

Observaciones generales:
Firma operador:

Ficha de mantenimiento PB01														Nº			
Mantenimiento de Bombas Inspección mensual																	
Operador:																	
Inspección																	
Actividades de Inspección Mensual		Fecha															
		Cumplen todas las bombas															
Verifique visualmente que no exista variaciones en la vibración		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Verifique visualmente que no exista goteo		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Verifique mediante el tacto variaciones en la temperatura.		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Bombas con daño																	
Código	Fecha de detección del daño	Ubicación										Daño/Observación					

Observaciones:

Firma operador:

Ficha de mantenimiento PB02														Nº			
Mantenimiento de Bombas Inspección semestral																	
Operador:																	
Inspección																	
Actividades de Inspección Semestral		Fecha															
		Cumplen todas las bombas															
Mida el caudal bombeado y compruebe que no varíe del normal. Compruebe que no exista baja presión.		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Mida el caudal bombeado y compruebe que no varíe del normal. Compruebe que no exista bajo caudal		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Bombas con daño																	
Código	Fecha de detección del daño	Ubicación										Daño/Observación					
Observaciones:																	
Firma operador:																	

Ficha de mantenimiento PT01														Nº			
Mantenimiento de Tuberías Inspección semanal																	
Operador:																	
Inspección																	
Actividades de Inspección Semanal		Fecha															
		Cumplen todas las válvulas															
Verifique los sistemas de sujeción de las tuberías.		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Verifique que no existan fugas, grietas roturas en las tuberías.		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Tuberías con daño																	
Código	Fecha de detección del daño	Ubicación										Daño/Observación					
Observaciones:																	
Firma operador:																	

Ficha de registro PT02														Nº					
Tuberías Mantenimiento preventivo																			
Operador:																			
Actividades		Fecha																	
Semanal																			
Realice una limpieza general de las cajas de revisión. Retire maleza, lodo acumulado.																			
Anual																			
Pinte el exterior de las tuberías de acero.																			
Observaciones generales:																			
Firma operador:																			

Ficha de registro MP31															Nº				
Mantenimiento Rejillas																			
Operador:																			
Actividades		Fecha (Coloque la fecha al estar cumplida la actividad)																	
Cada semana																			
Inspección Verifique el buen estado de la rejilla.																			
Cuando la planta va a estar parada por más de una semana o cada semana																			
Limpieza Limpie las rejillas del canal de agua cruda (rejilla 1) y del canal de agua sedimentada (rejilla 2)																			
Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):																			
Firma operador:																			

Ficha de registro MP32														No			
Mantenimiento Instalaciones en general																	
Operador:																	
Actividades		Fecha (Coloque la fecha al estar cumplida la actividad)															
Cada semana																	
Retire maleza. Esta puede crecer también en los alrededores de las estructuras de hormigón																	
Realice mantenimiento de área verde																	
Limpie las instalaciones, barra, retire polvo, escombros.																	
Cada vez de puesta en marcha de la PTA o cada mes																	
Revise que no exista daños en las instalaciones. Revise todo el recorrido de tratamiento del agua y demás instalaciones de la PTA.																	
Cada año																	
Pinte las instalaciones:																	
Observaciones generales (Poner la fecha junto con la observación):																	

Firma operador:

Ficha de registro RG01						Nº	
Actividades de operación							
Operador:						Fecha: / /	
Clima:		Soleado		Nublado		Lluvioso	
Actividad		Materiales y equipos:				Observaciones	
Observaciones generales:							
Firma operador:							

Ficha de mantenimiento MP25						No	
Estación de bombeo							
Operador:						Fecha: / /	
Clima:		Soleado		Nublado		Lluvioso	
Procedimiento		P25					
Actividad			Materiales y equipos:			Observaciones	
Drenaje y extracción de lodos							
Fecha de próximo mantenimiento:		/ /					
Observaciones generales:							
Firma operador:							

Ficha de registro RP33					Nº	
Turbiedad						
Operador:						
Turbiedad (UNT)				Fecha Hora	Observaciones	
Agua cruda	Agua Sedimentada	Agua filtrada	Agua Almac.			
				/ / :		
				/ / :		
				/ / :		
				/ / :		
				/ / :		
				/ / :		
Observaciones generales:						
Firma operador:						

CAPÍTULO 8

Conclusiones

En este trabajo consta el desarrollo del procedimiento para la elaboración del manual de operación, mantenimiento y control de calidad de la PTA de la CTD.

Se pretende que con este manual se de el funcionamiento óptimo de la PTA de la CTD.

Se definieron los requerimientos de calidad de agua necesaria en la Central Termoeléctrica El Descanso, en base a normativa internacional y manuales del fabricante de los equipos de la CTD.

Se evaluó los elementos que integran la planta de tratamiento de agua, se excluyó lo relativo a operación o mantenimiento debido al manejo empírico que se da en la actualidad, en estos casos se determinó como se está operando actualmente y en lugar de evaluar, se procedió a determinar los parámetros óptimos correspondientes, su selección se realizó en función de la estructura existente, pues el fin de determinarlos, fue optimizar los sistemas actuales.

En base a los parámetros óptimos determinados en la evaluación, se elaboró los procedimientos expuestos en el manual.

Este trabajo está a disposición de la Universidad de Cuenca y ELECAUSTRO S.A.

APÉNDICE A

Planos de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central
Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del
Austro S.A.

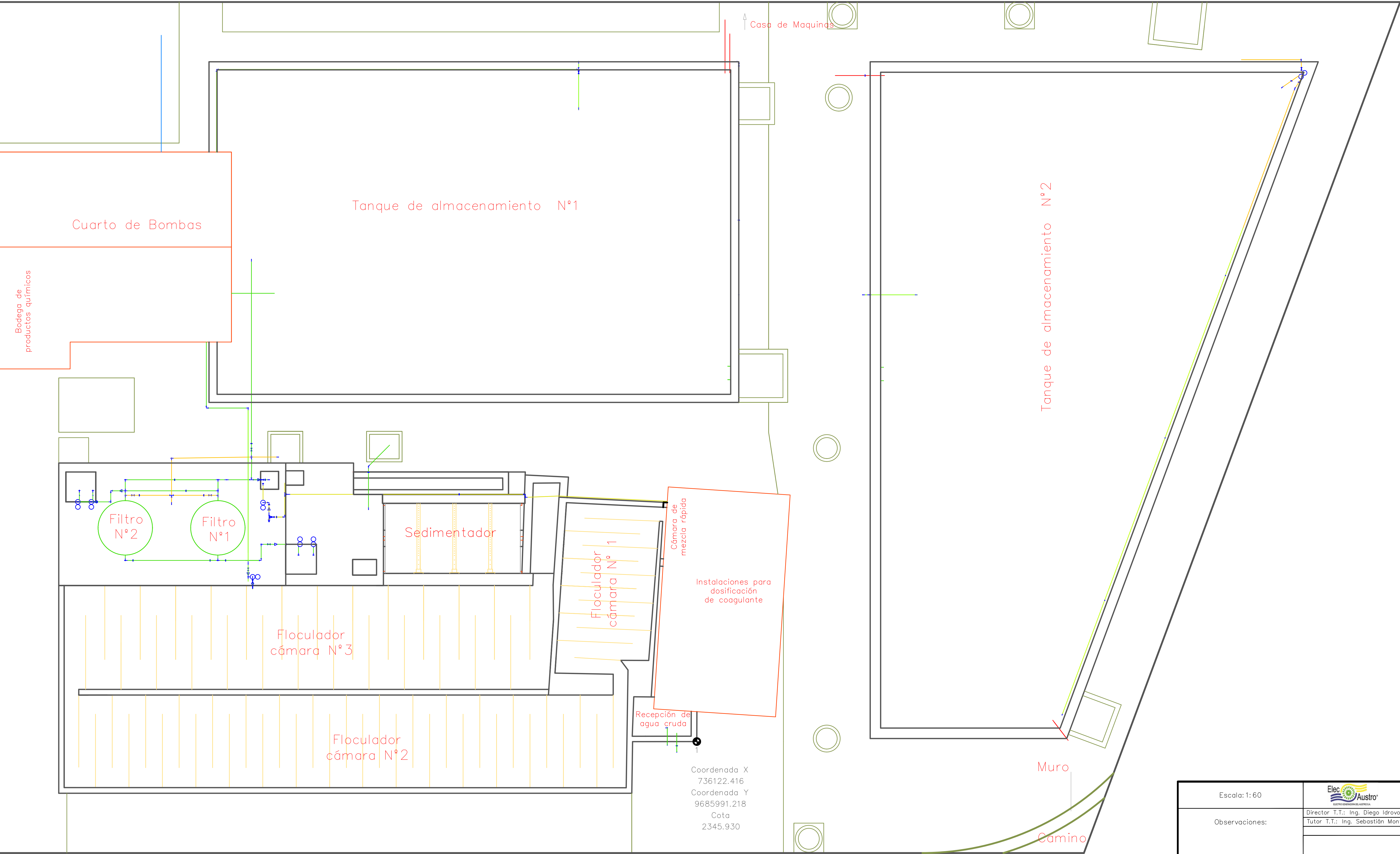


Universidad de Cuenca

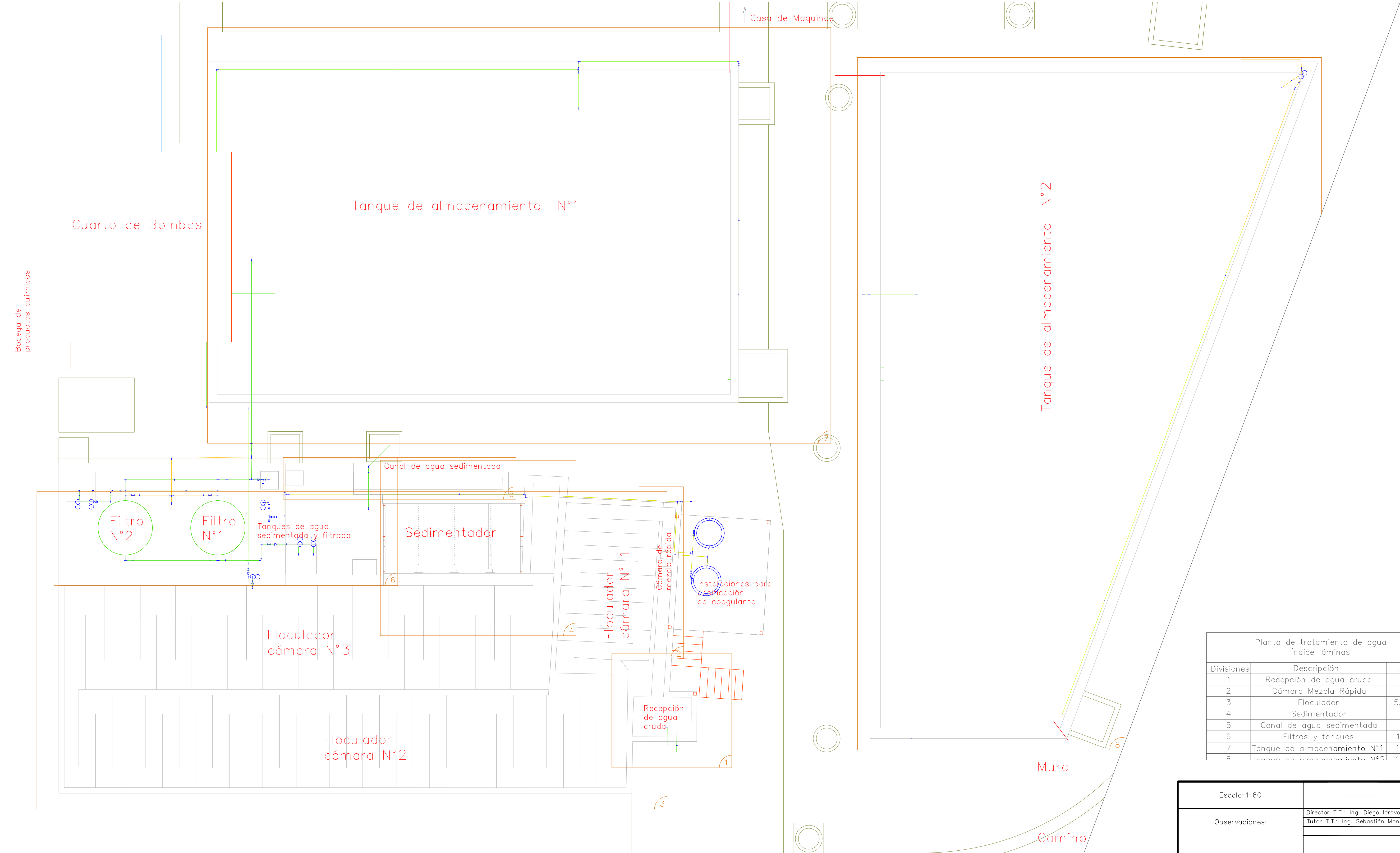


Empresa Electro Generadora del Austro
ELECAUSTRO S.A.

**Planos de la Planta de Tratamiento de Agua de la Central
Termoeléctrica El Descanso de la Empresa Electro Generadora del
Austro S.A**



Escala: 1: 60	<div><div><div><div></div><div>Elec</div></div><div><div>Austro</div><div>INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN</div></div></div><div></div></div>	
Observaciones:	Director T.T.: Ing. Diego Idrovo	
	Tutor T.T.: Ing. Sebastián Montesdeoca	
	<div></div> <div>David Quintuña Rodríguez</div>	
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Septiembre-2019	
Contenido: Plano de ubicación general	Hoja 1	



Planta Nivel 2350.750

Planta de tratamiento de agua		
Índice láminas		
Divisiones	Descripción	Lámina
1	Recepción de agua cruda	3
2	Cámara Mezcla Rápida	4
3	Floculador	5, 6, 7
4	Sedimentador	8, 9
5	Canal de agua sedimentada	10
6	Filtros y tanques	11, 12
7	Tanque de almacenamiento N°1	13, 15
8	Tanque de almacenamiento N°2	13, 15

Escala: 1: 60

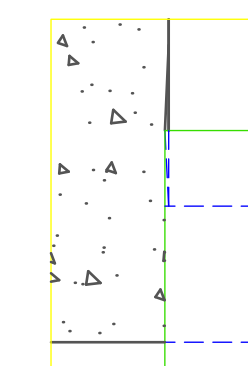
Observaciones:

Director T.T.: Ing. Diego Iarova
Tutor T.T.: Ing. Sebastián Montesdeoca

David Quintuña Rodríguez

Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.
Contenido: Índice láminas

Septiembre-2019
Hoja 2





Corte C – C

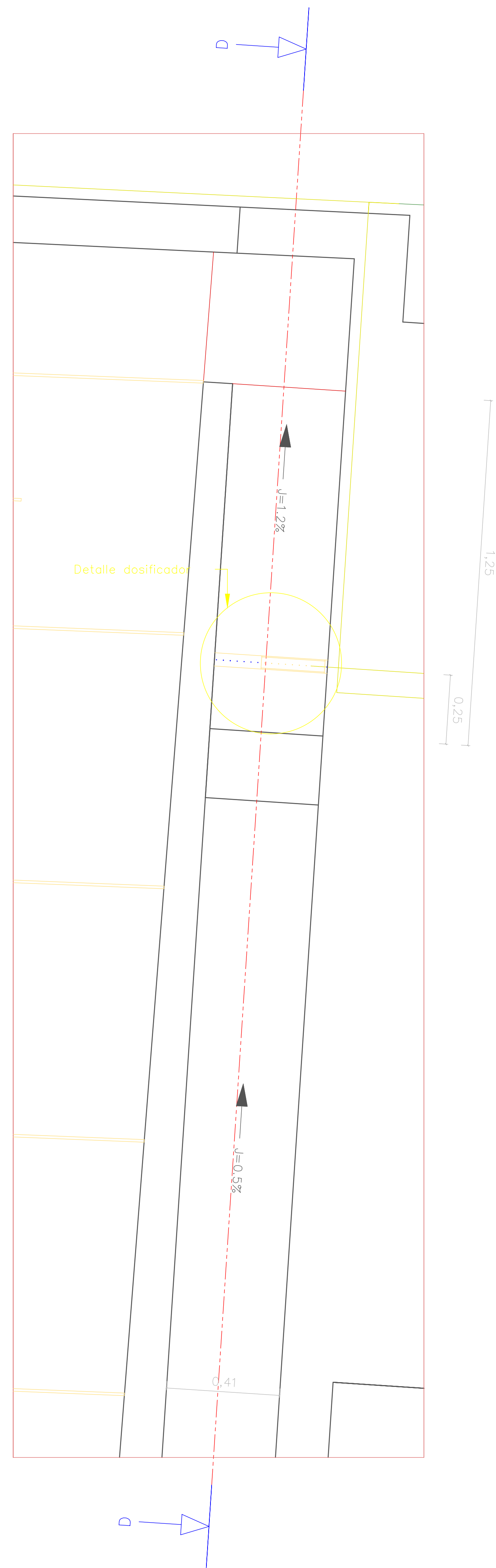
Escala 1 a 10

Detalle 1

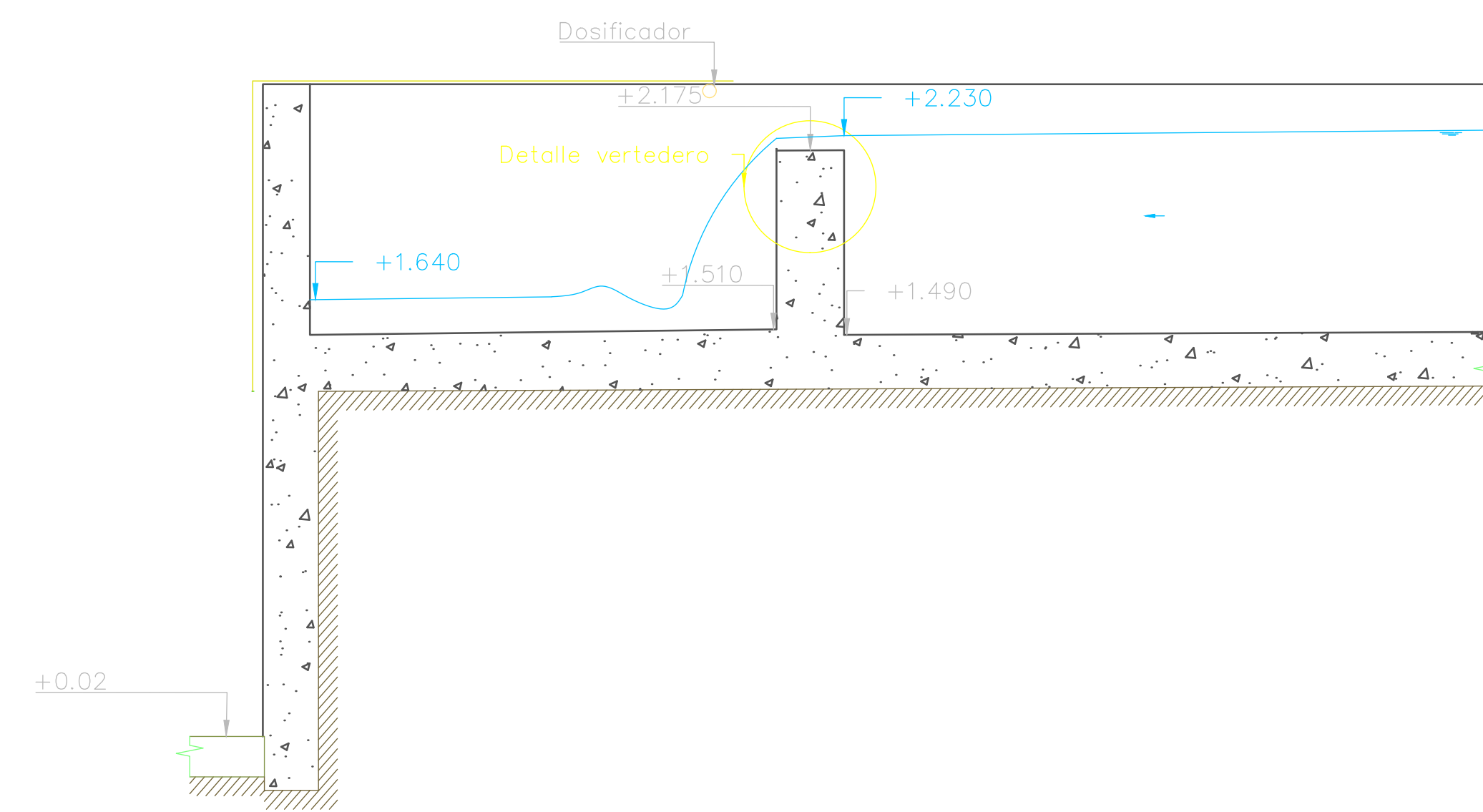
Escala 1 a 10

Escala: Las indicadas		
Observaciones:	Director T.T.: Ing. Diego Idrovo	Tutor T.T.: Ing. Sebastián Montesdeoca
	<div style="text-align: right;"> _____ David Quintuña Rodríguez </div>	
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D. Contenido: Recepción de agua cruda		Septiembre—2019 Hoja 3

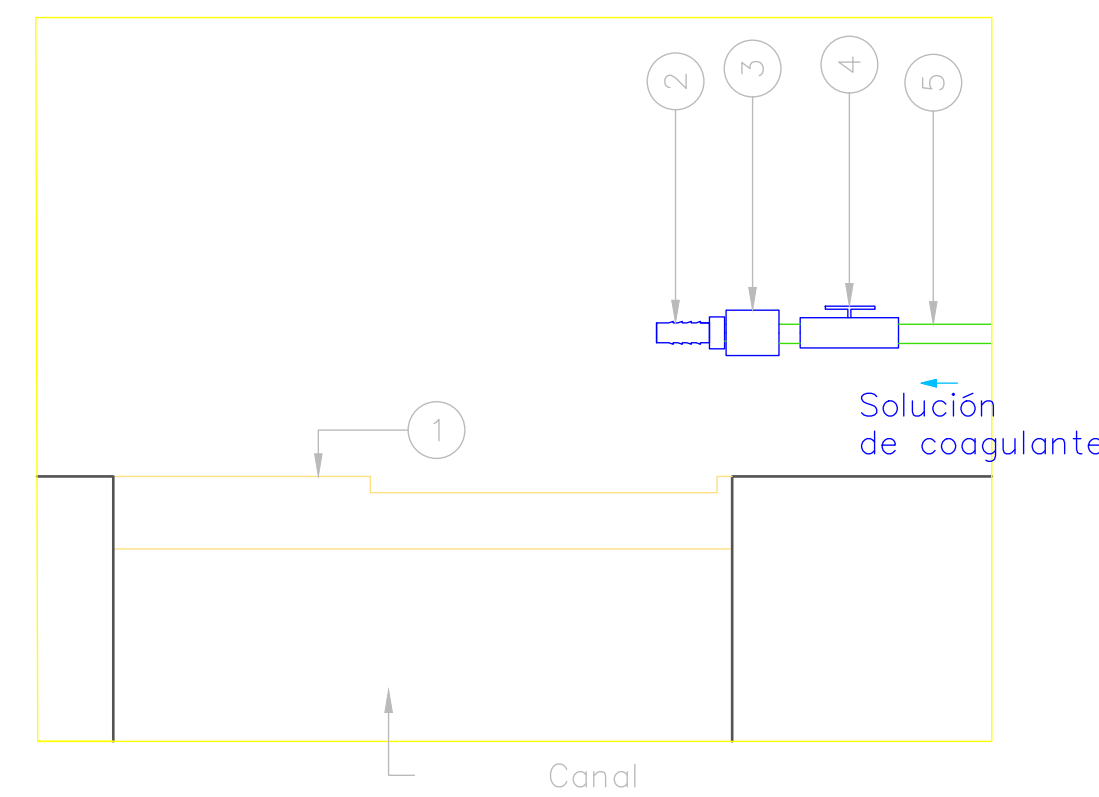
Nota 1. Solamente la vista en planta y el detalle contienen contornos ocultos



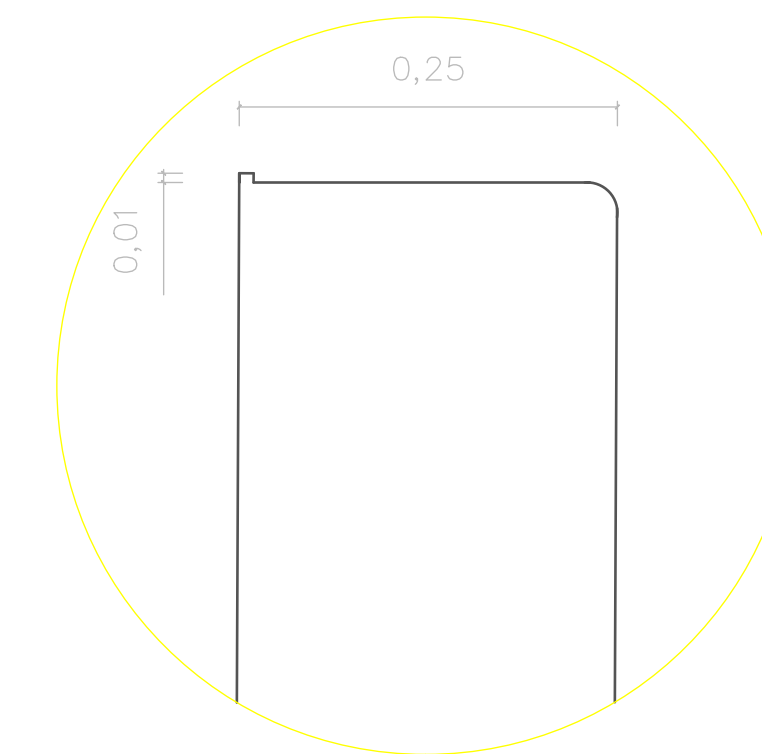
Planta
Escala 1 a 10



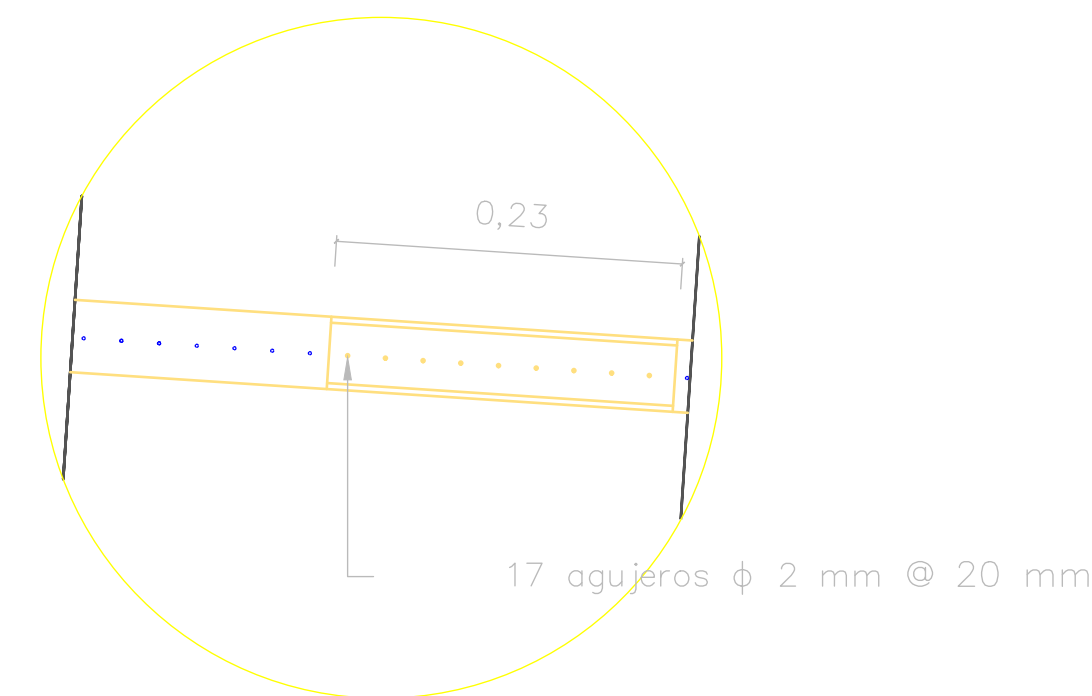
Corte D — D
Escala 1 a 20



Detalle dosificador
Escala 1 a 5




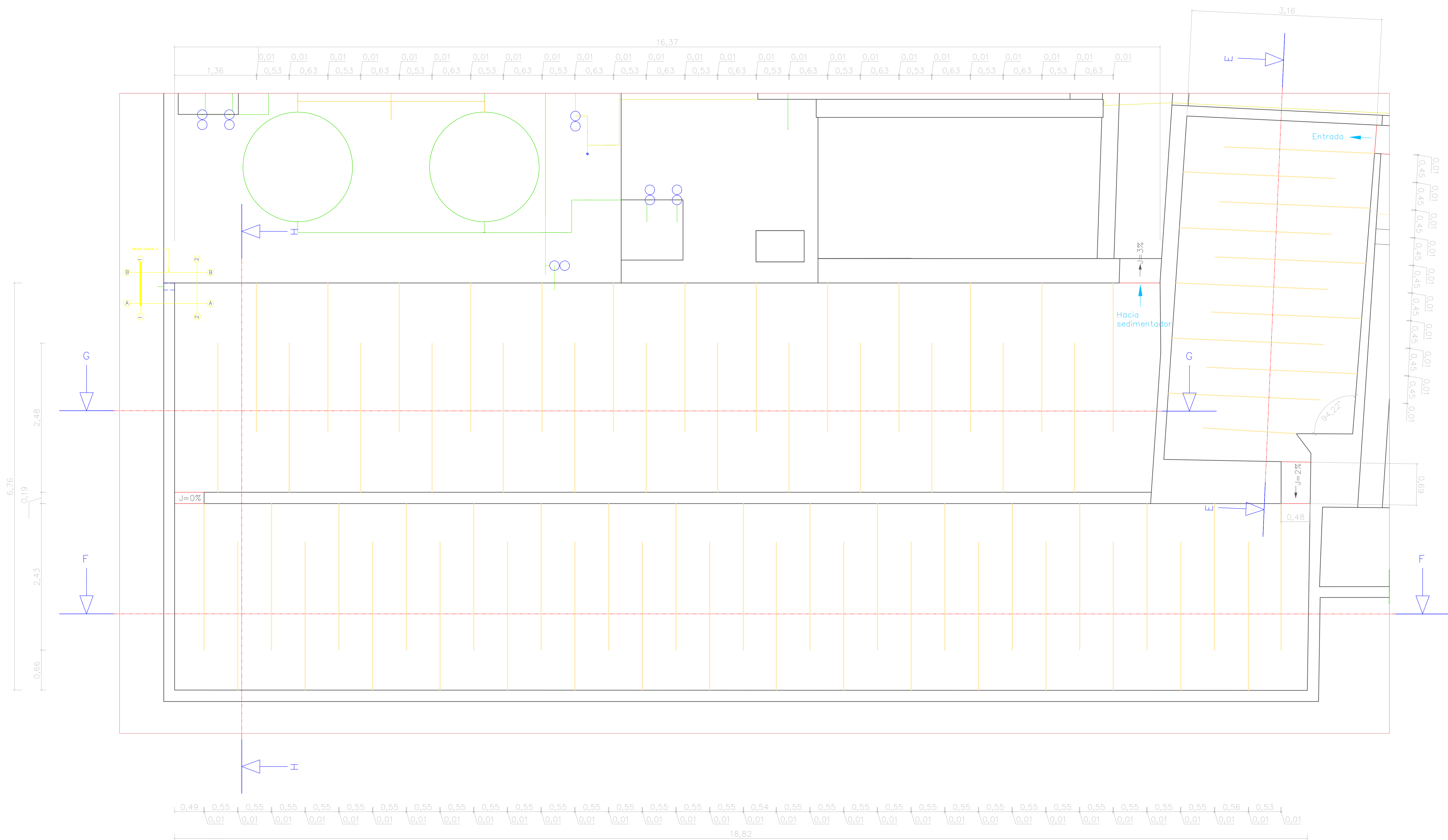
Detalle vertedero
Escala 1 a 5





Detalle ítem 1
Escala 1 a 5

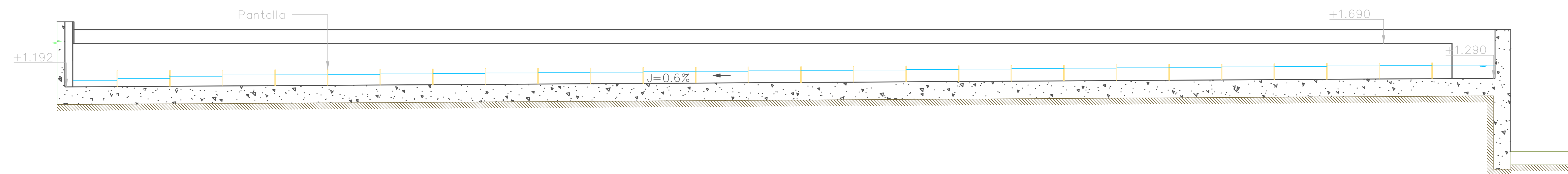
Item	Cant.	Descripción
1	1	Tubo circular PVC ϕ 50 mm
2	1	Espiga PVC conexión a P.E. rosca macho
3	1	Unión roscada ϕ 1 / 2 pulgadas
4	1	Válvula de bola roscada ϕ 1 / 2 pulgadas
5	1	Tubo circular PVC ϕ 1 / 2 pulgadas

Escala: Las indicadas	 Director T.T.: Ing. Diego Iarova Tutor T.T.: Ing. Sebastián Montesdeoca
Observaciones:	<div>David Quintuña Rodríguez</div>
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Septiembre-2019
Contenido: Cámara de mezcla rápida	Hoja 4



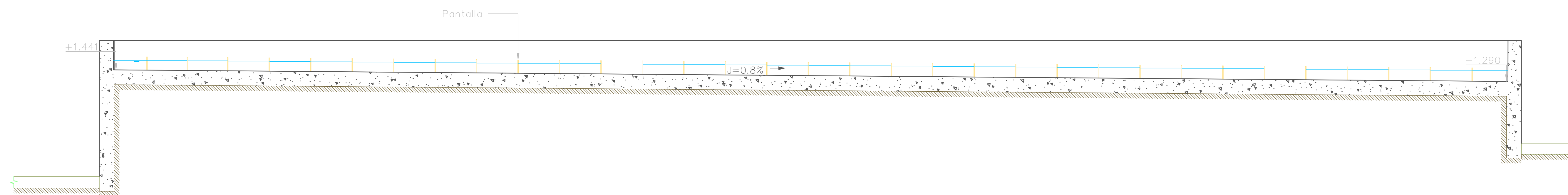
Planta
Escala 1 a 30

Escala: Las indicadas	 Director T.T.: Ing. Diego Iarova Tutor T.T.: Ing. Sebastián Montesdeoca	
Observaciones:	<div>David Quintuña Rodríguez</div>	
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Septiembre-2019	
Contenido: Floculador -Planta	Hoja 5	



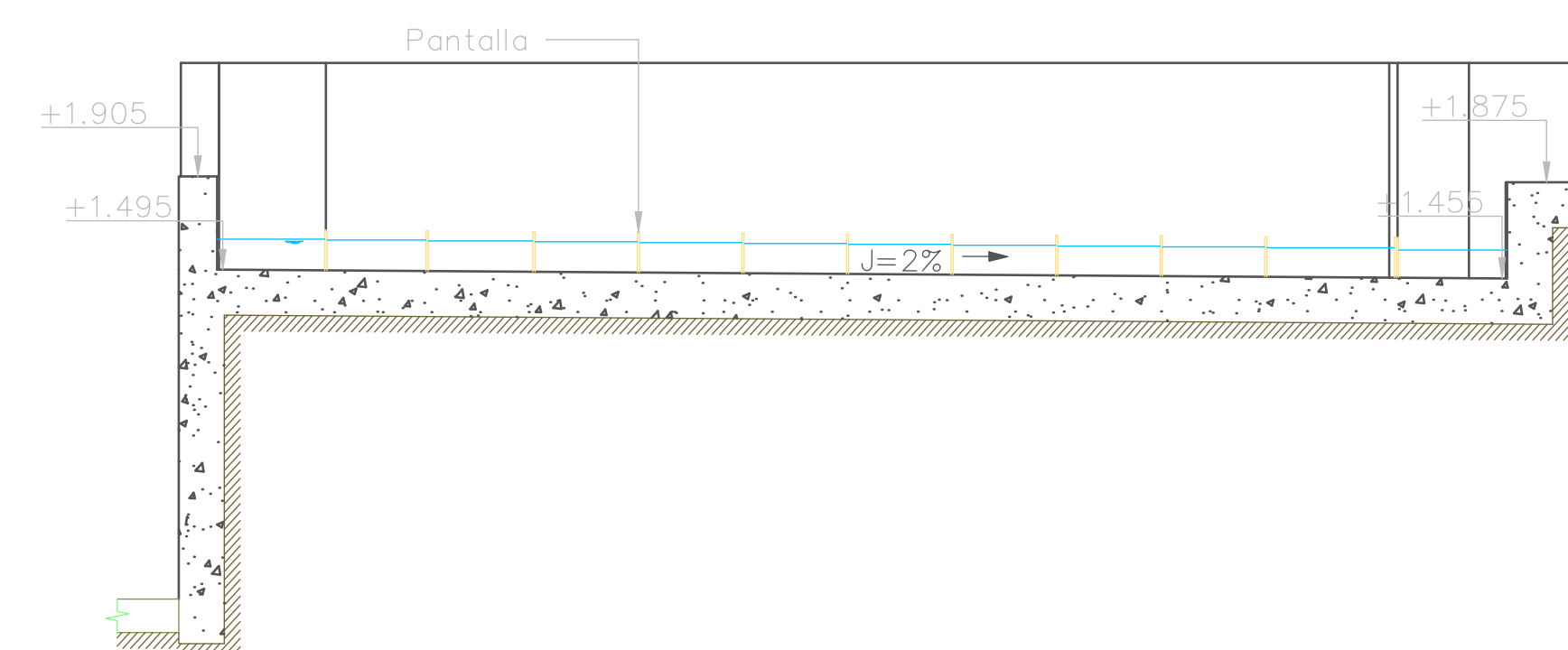
Corte G — G

Escala 1 a 30





Corte F — F

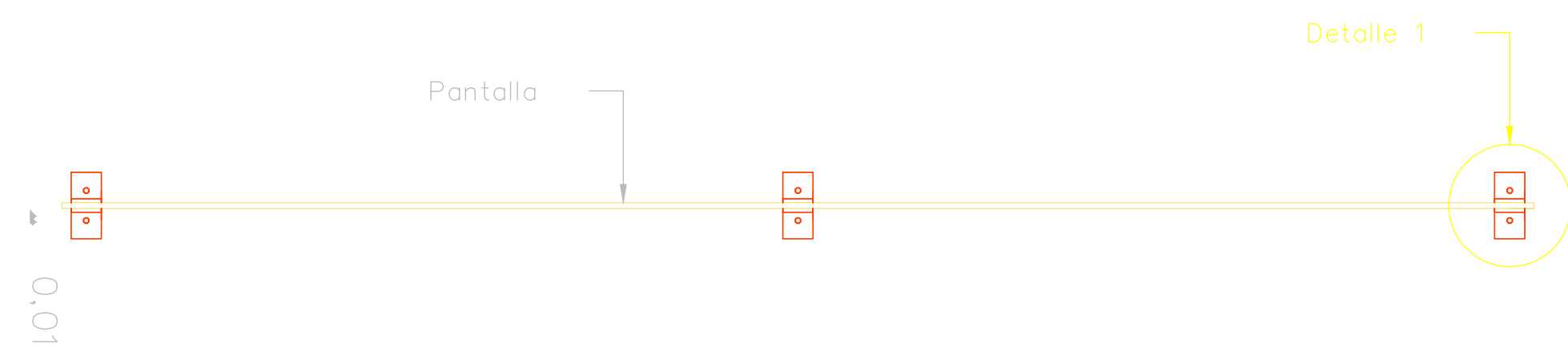
Escala 1 a 30



Corte E — E

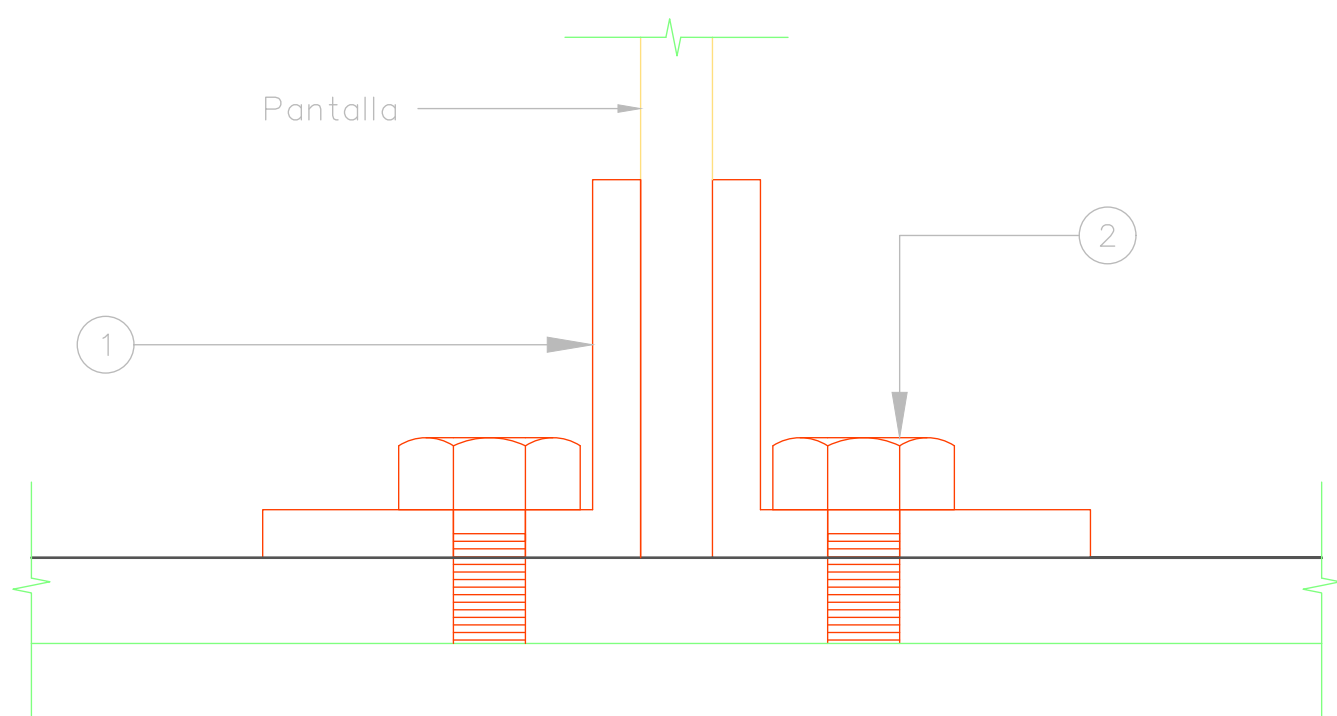
Escala 1 a 30

Escala: 1: 30		
Observaciones:	Director T.T.: Ing. Diego Idrovo	
	Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedecca	
	<hr/> David Quintuña Rodríguez	
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Julio-2019	
Contenido: Floculadores -Cortes: E-E, F-F, G-G	Hoja 6	



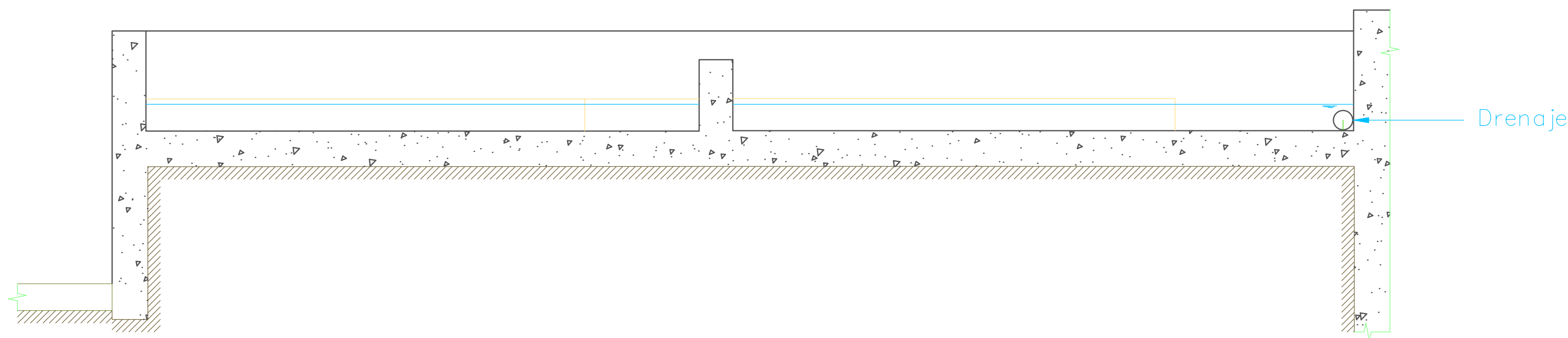
Detalle sujeción pantalla

Escala 1 a 10



Detalle 1


Escala 1 a 5

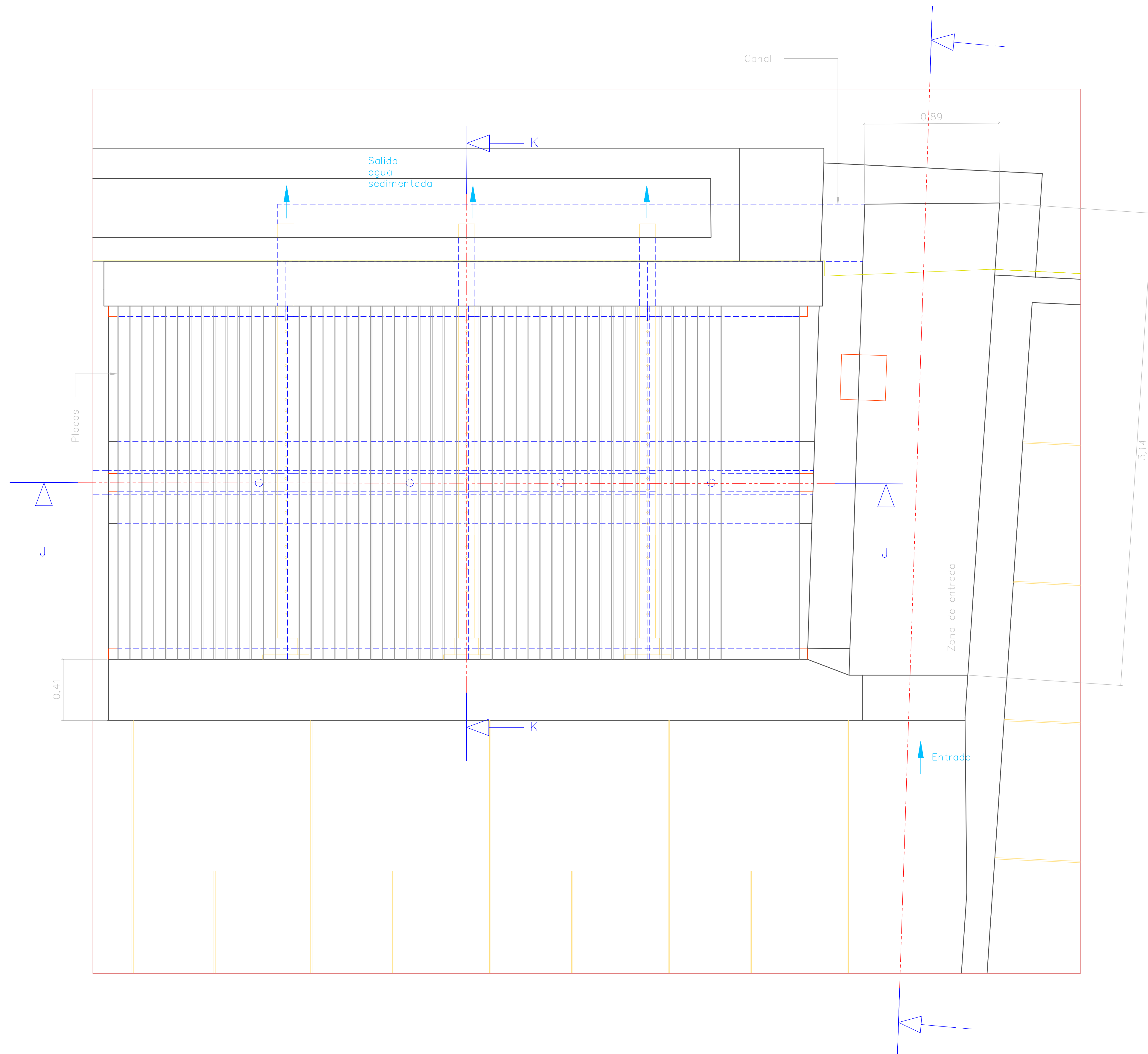


Corte H – H

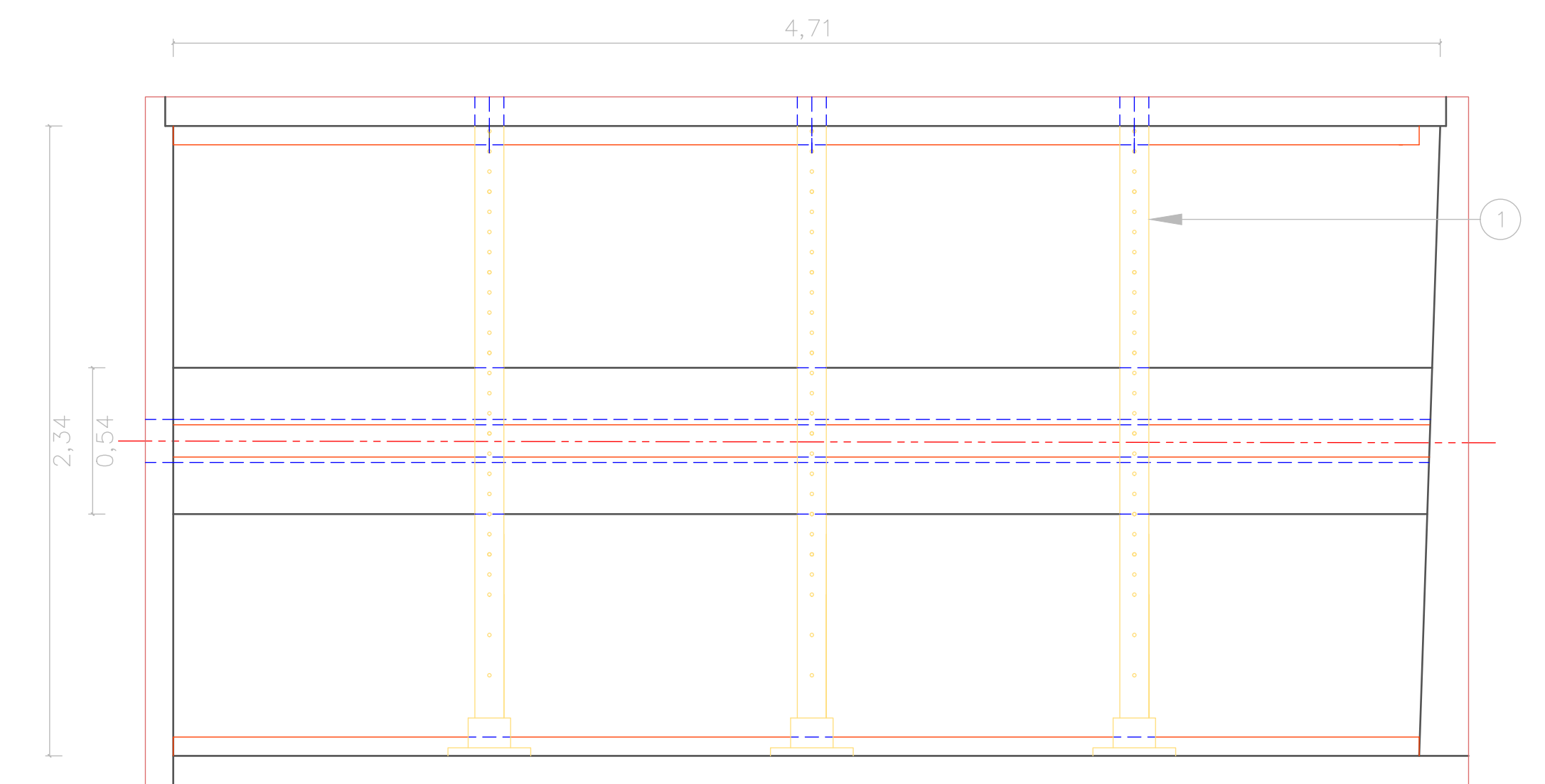
Escala 1 a 30

Item	Descripción
1	Escuadra metálica 2X2X1/4 pulgadas ϕ 1/2 pulgada
2	Perno hexagonal ϕ 1/2 pulgada

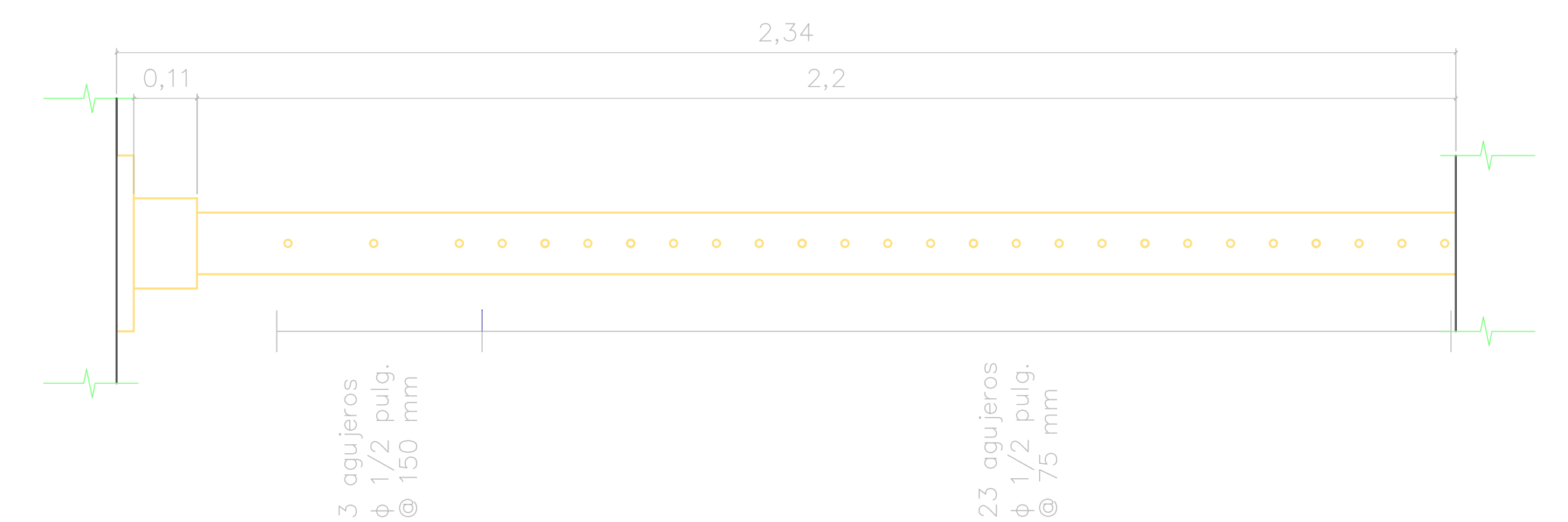
Escala: Las indicadas	 
Observaciones:	Director T.T.: Ing. Diego Idrovo
	Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedecoa
	David Quintuña Rodríguez
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Julio–2019
Contenido: Floculadores –Corte H–H –Detalle sujeción pantalla	Hoja 7



Planta
Escala 1 a 15




Planta Sedimentador sin placas
Escala 1 a 20

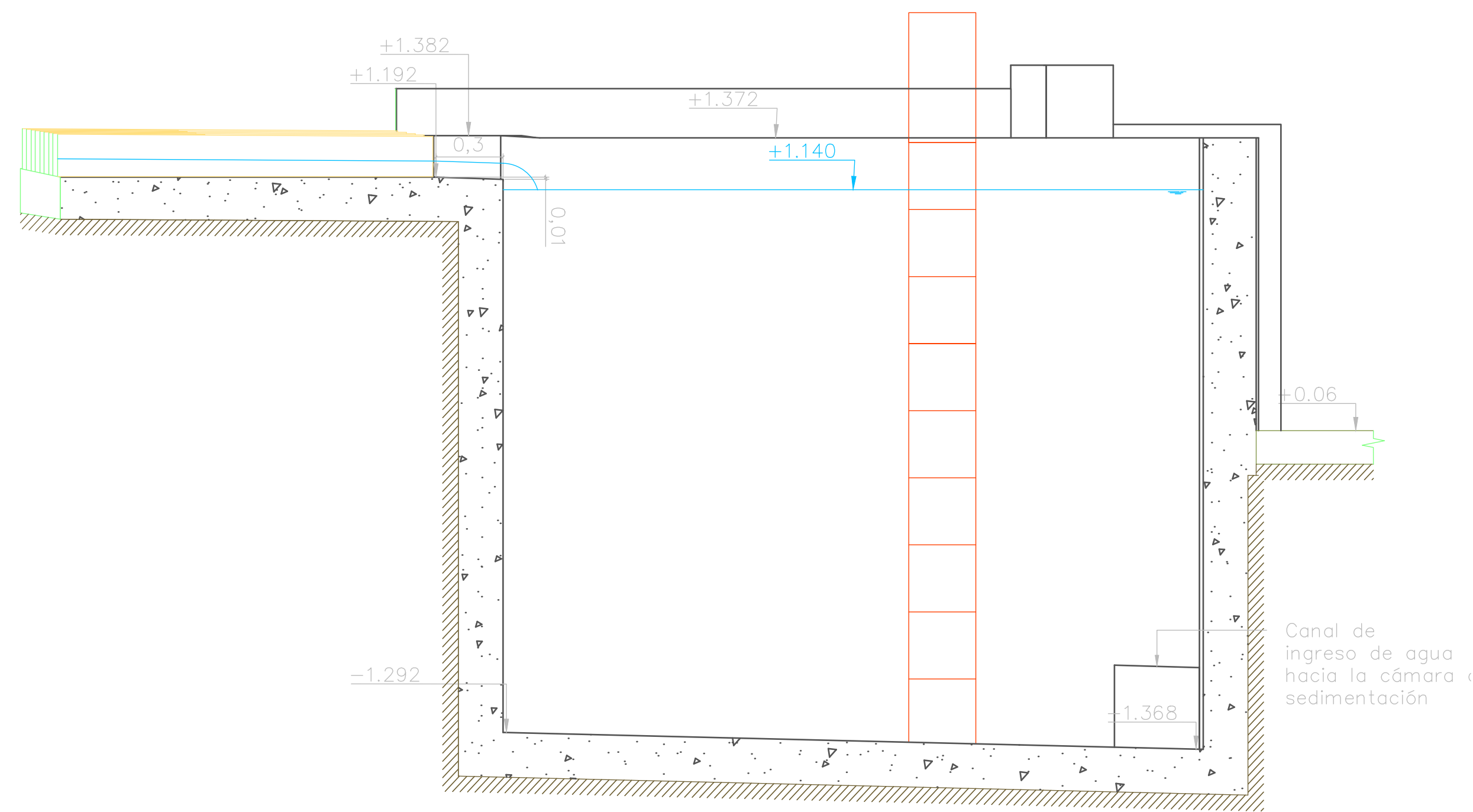


Detalle Item 1
Escala 1 a 10

Nota 1. Solamente las vistas en planta contornos ocultos

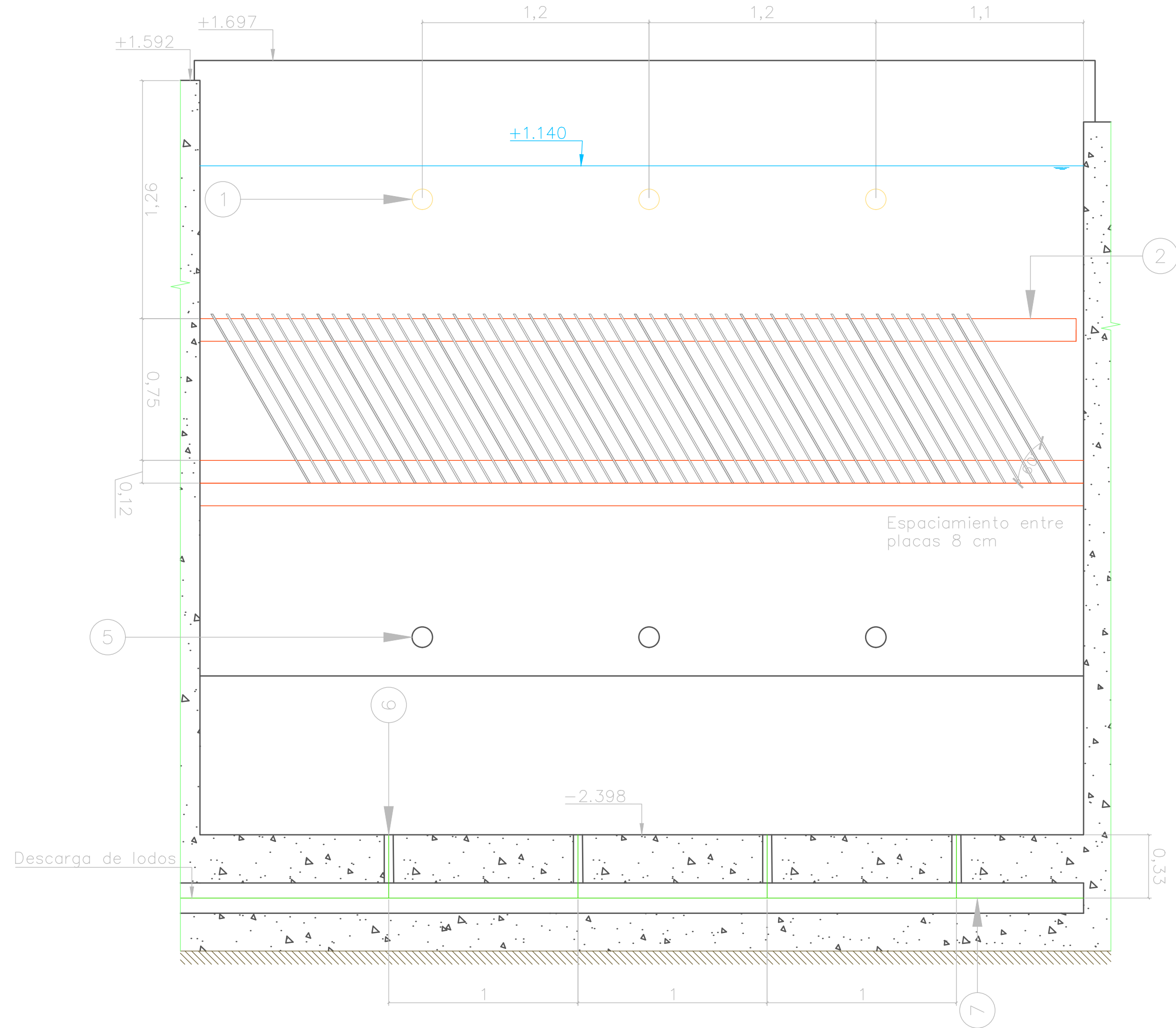
Item	Cant.	Descripción
1	3	Tubo redondo φ 4 pulgadas espesor 1/8 pulgada con agujeros

Escala: Las indicadas	 Director T.T.: Ing. Diego Iarova Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedecca
Observaciones:	<div>David Quintuña Rodríguez</div>
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Julio-2019
Contenido: Sedimentador -Planta -Detalle	Hoja 8



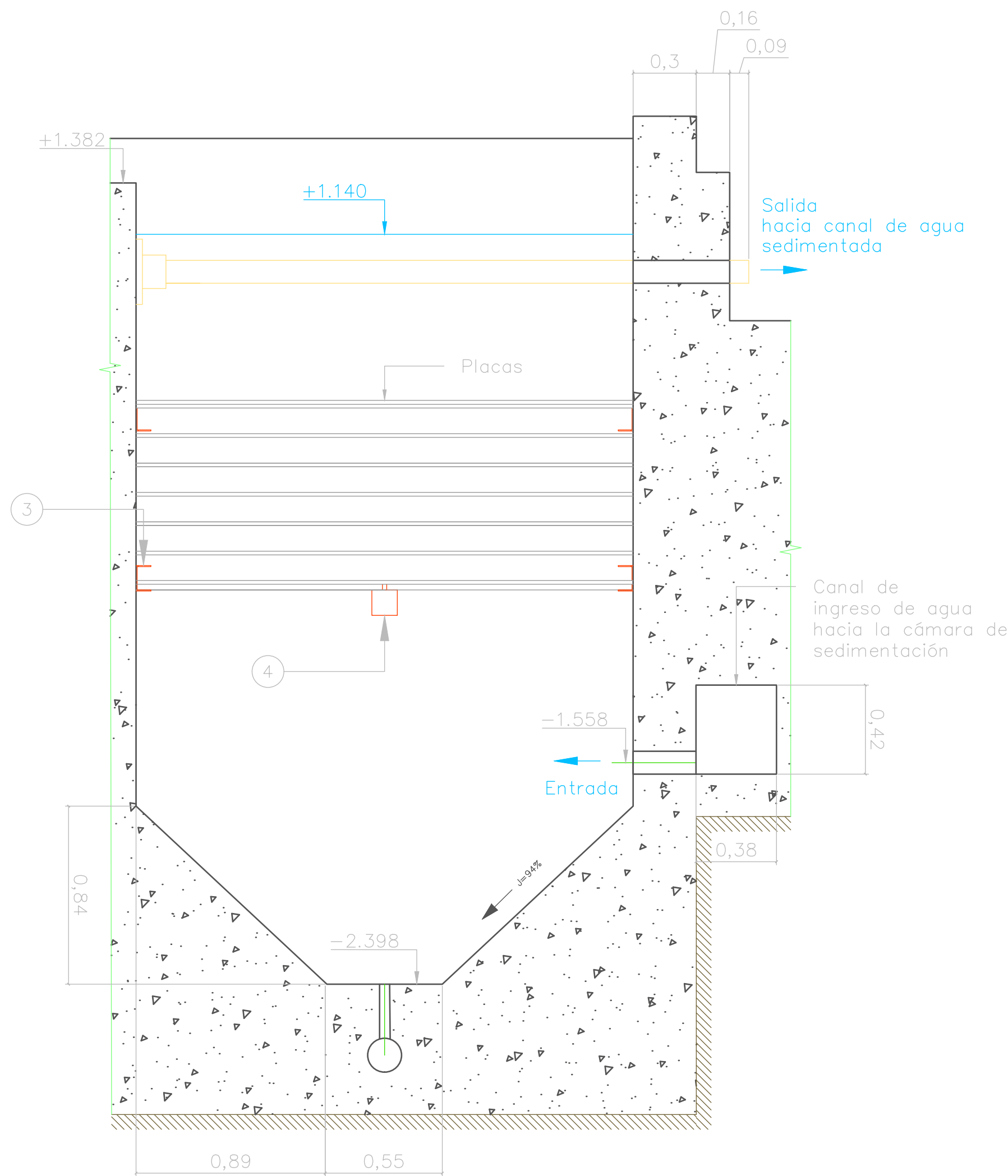
Corte I – I

Escala 1 a 20



Corte J – J

Escala 1 a 20



Corte K – K

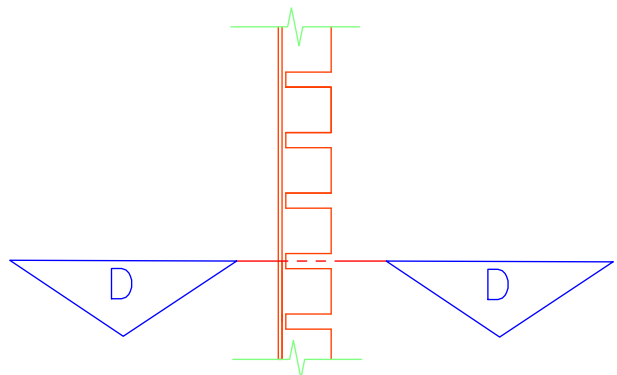
Escala 1 a 10

Corte D – D Corte E – E Vista lateral

Escala 1 a 10

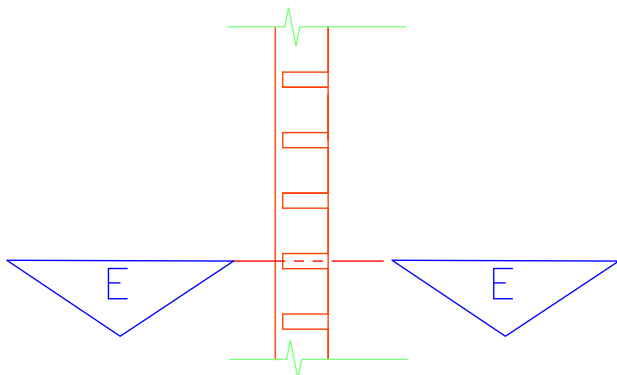
Escala 1 a 10

Escala 1 a 10



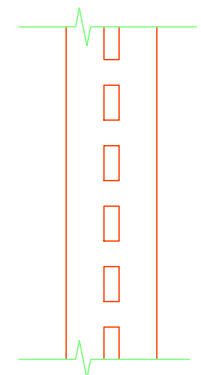
Detalle 1

Escala 1 a 10



Detalle 2

Escala 1 a 10



Detalle 3

Escala 1 a 10



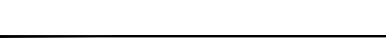
Detalle elementos de sujeción de placas

Escala 1 a 10

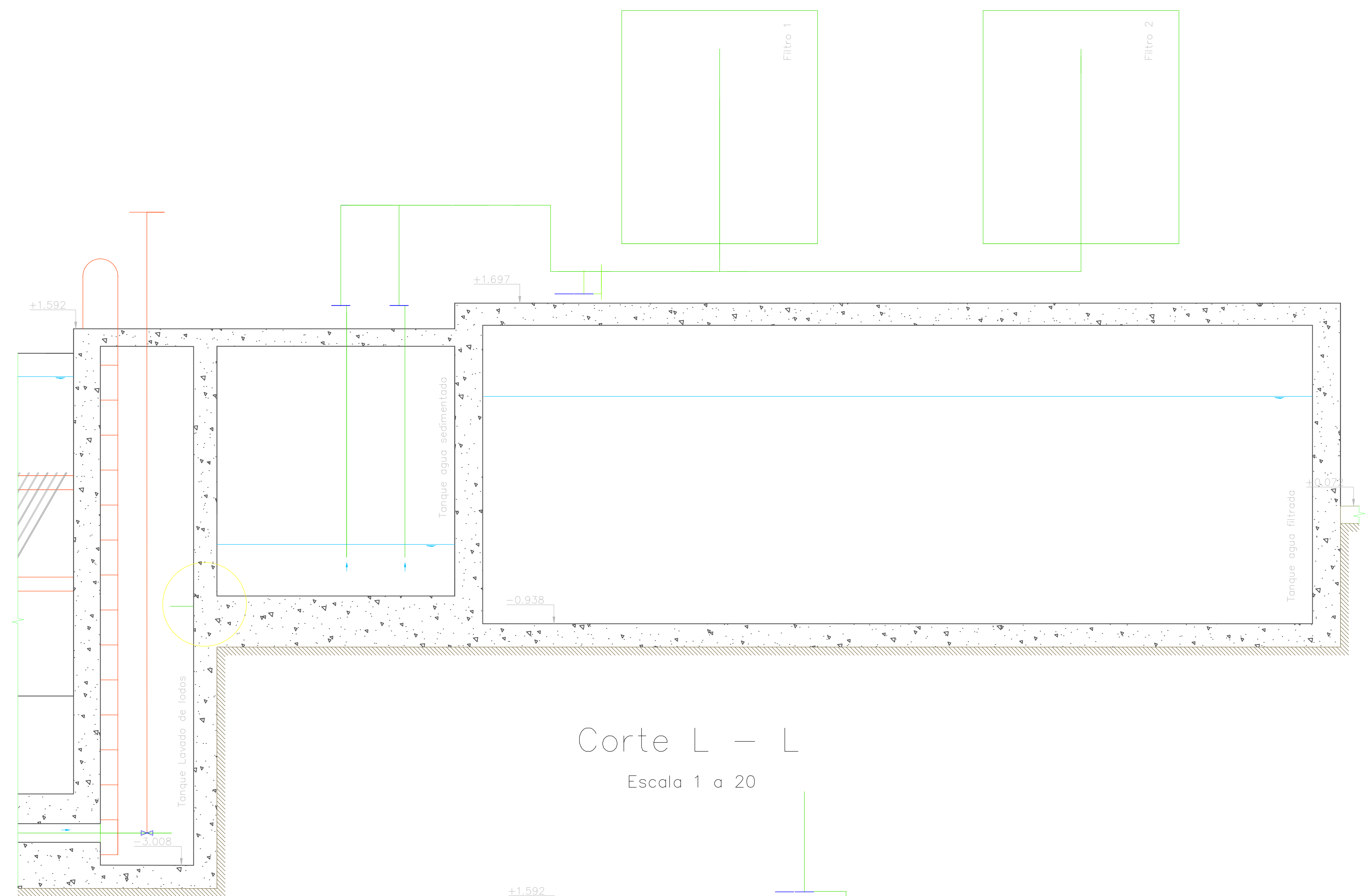
Item	Cant.	Descripción
1	3	Tubo redondo ϕ 4 pulgadas espesor 1/8 pulgada con agujeros
2	2	Sujeción metálica sección C 70X120X5 mm
3	2	Sujeción metálica sección C 70X120X5 mm
4	1	Sujeción metálica sección cuadrada 120X120X5 mm
5	1	Tubo redondo ϕ 4 pulgadas espesor 1/8 pulgada
6	3	Tubo redondo PVC ϕ 1 pulgada espesor 1/8 pulgada
7	1	Tubo redondo PVC ϕ 16 mm

Escala: Las indicadas		
Observaciones:	Director T.T.: Ing. Diego Iarova Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedeoca	
	David Quintuña Rodríguez	
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Julio-2019	
Contenido: Sedimentador -Cortes -Detalles	Hoja 9	



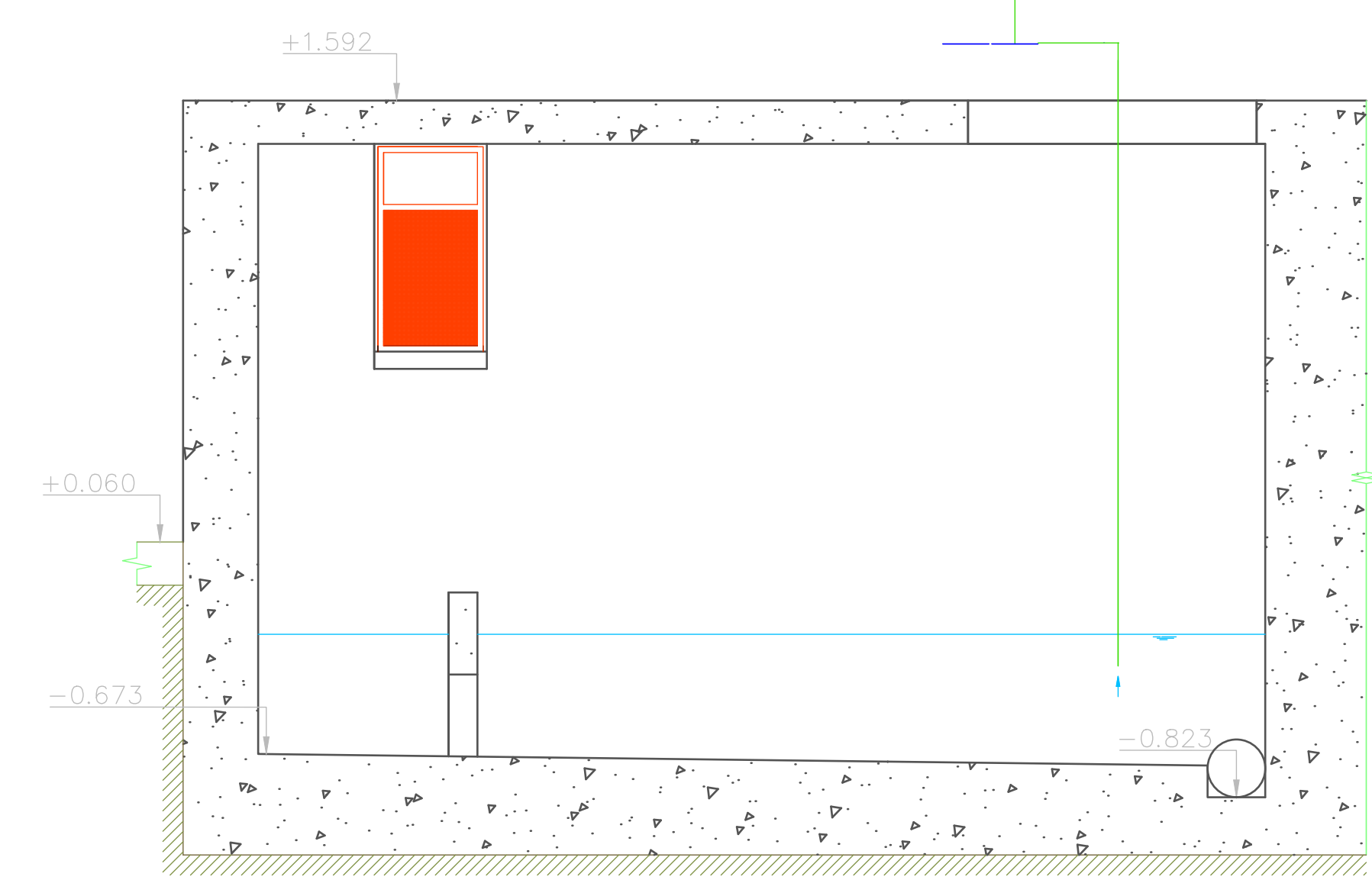
Escala: Las indicadas	 
Observaciones:	Director T.T.: Ing. Diego Idriva
	Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedeoco
	<div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  David Quintuña Rodríguez </div>
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D. Contenido: Canal de agua sedimentada	Julio—2019 Hoja 10

Nota 1. Solamente la vista en planta contienen contornos ocultos



Corte L — L

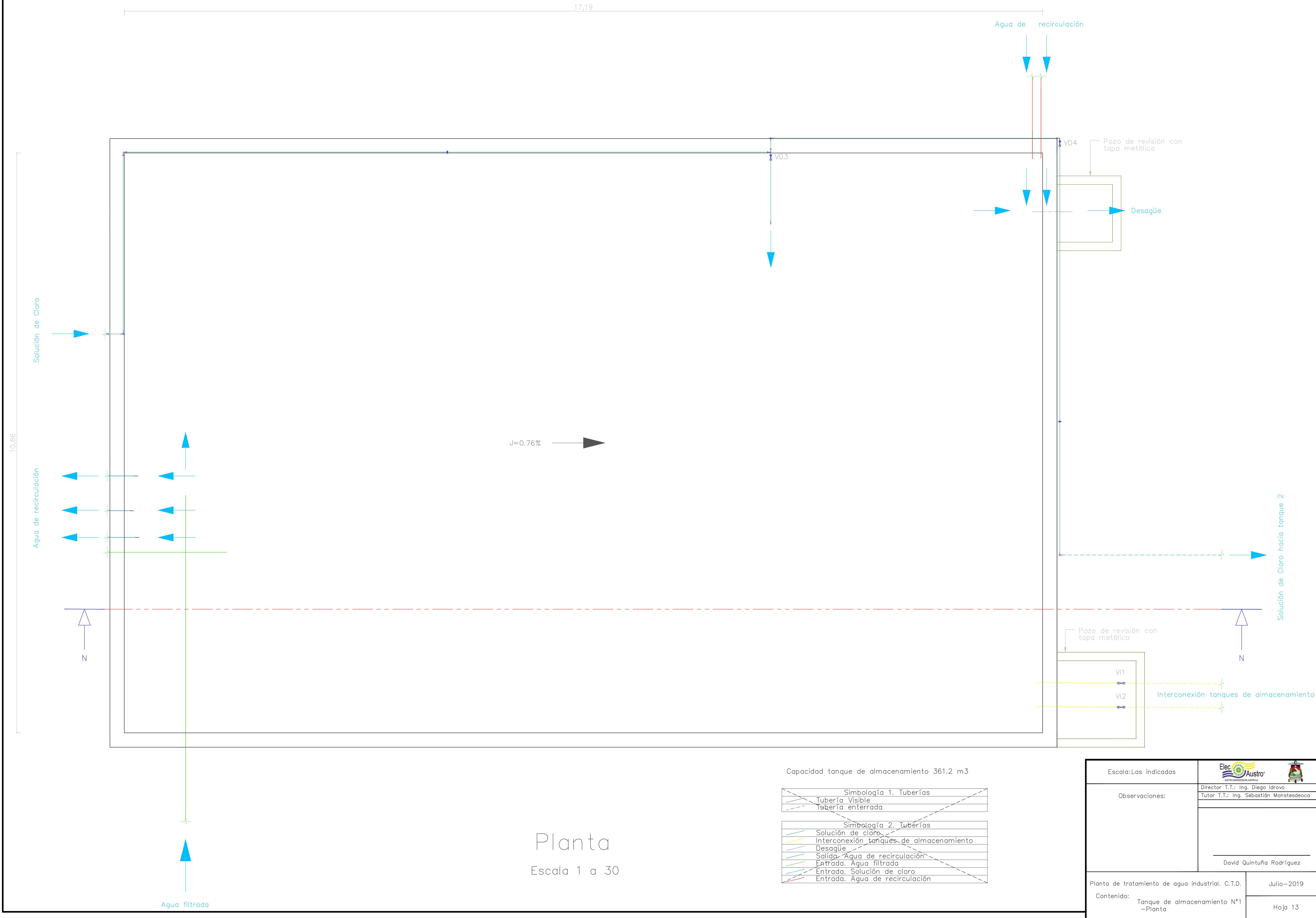
Escala 1 a 20



Corte M — M

Escala 1 a 20

Escala: Las indicadas	<div><div><div><div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div></div></div></div> <div>Director T.T.: Ing. Diego Idrovo</div> <div>Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedeoca</div>	
Observaciones:	<div><div></div><div></div></div> <div>David Quintuña Rodríguez</div>	
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Julio—2019	
Contenido: Filtros y tanques —Corte L—L y corte M—M	Hoja 12	

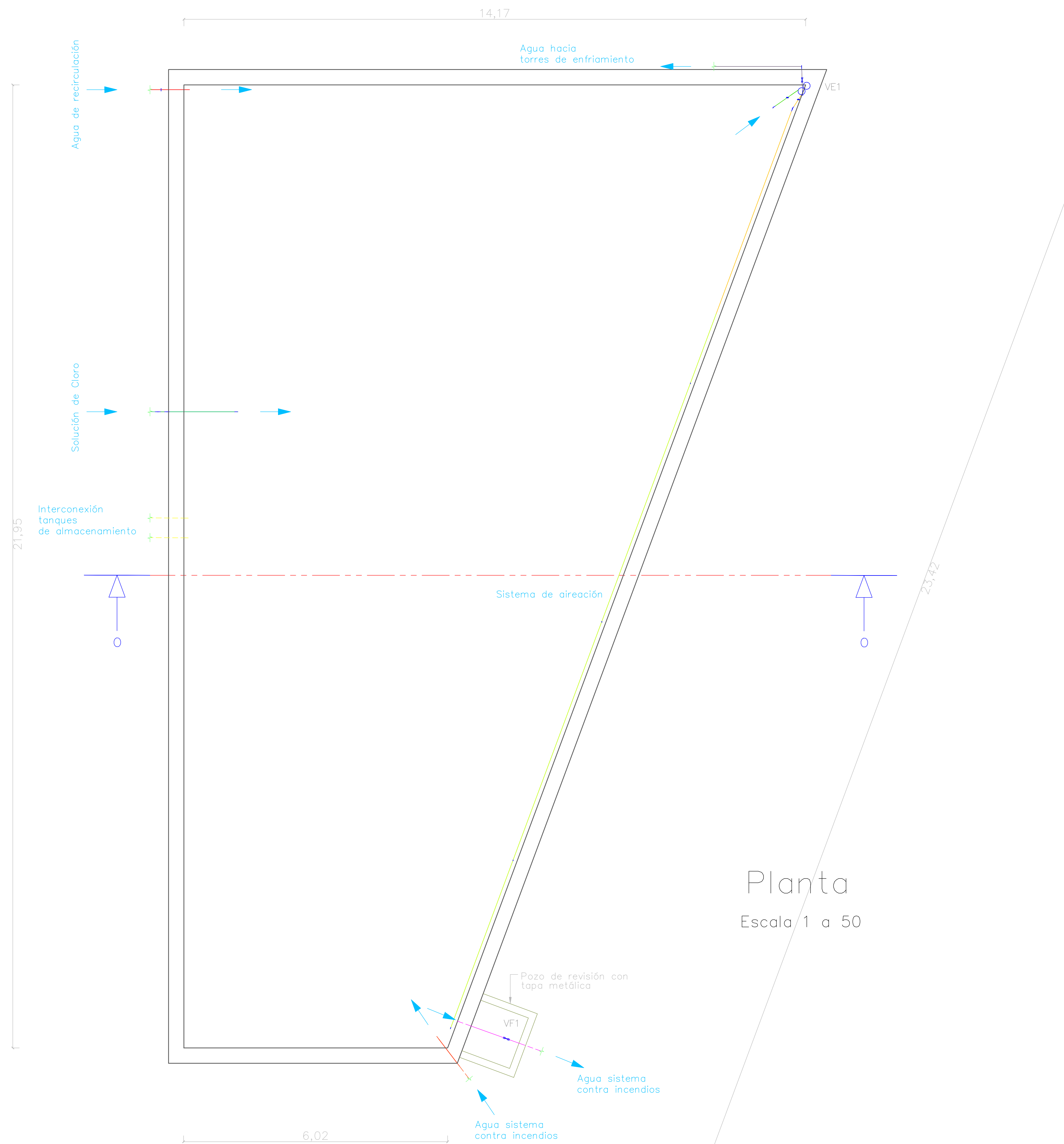


Capacidad tanque de almacenamiento 361.2 m3

Simbología 1. Tuberías	
	Tubería Visible
	Tubería enterrada
Simbología 2. Tuberías	
	Solución de cloro
	Interconexión tanques de almacenamiento
	Desagüe
	Salida Agua de recirculación
	Entrada Agua filtrada
	Entrada Solución de cloro
	Entrada Agua de recirculación

Planta
Escala 1 a 30



Escala: Las indicadas	 Director T.T.: Ing. Diego Idrvo Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedecca
Observaciones:	<div></div> <div>David Quintuña Rodríguez</div>
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Julio-2019
Contenido: Tanque de almacenamiento N°1 -Planta	Hoja 13

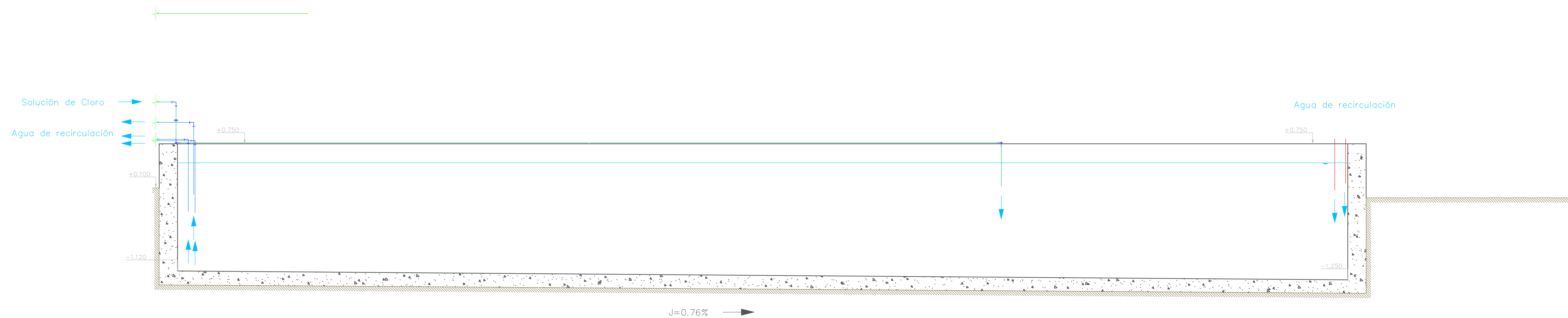


Capacidad tanque de almacenamiento 465.7 m3

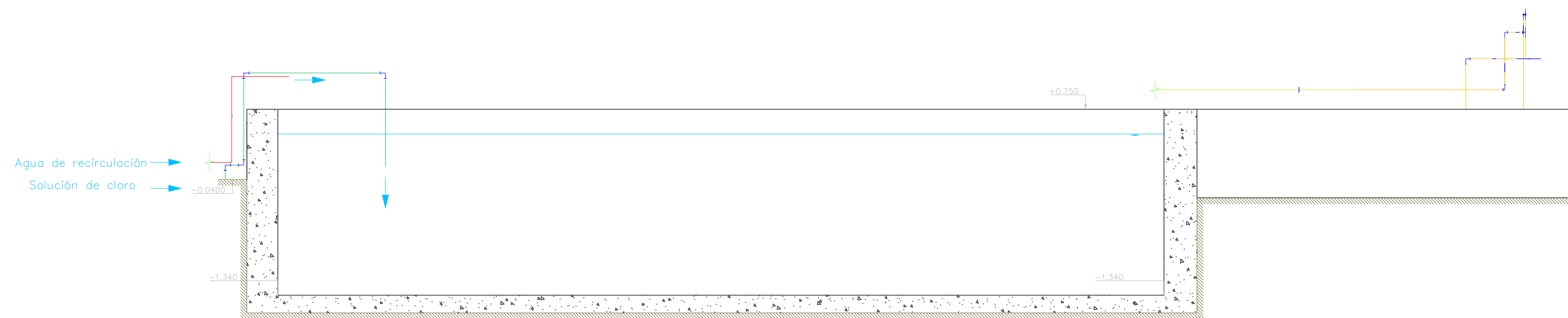
Simbología 1. Tuberías	
	Tubería Visible
	Tubería enterrada

Simbología 2. Tuberías	
	Entrada. Agua sistema contra incendios
	Salida. Agua sistema contra incendios
	Entrada. Solución de cloro
	Entrada. Agua sistema contra incendios
	Interconexión tanques de almacenamiento
	Salida. Agua hacia torres de enfriamiento
	Tubería común para varios usos

Escala: Las indicadas		
Observaciones:	Director T.T.: Ing. Diego Idrovo	
	Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedecca	
		
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.		Julio-2019
Contenido: Tanque de almacenamiento N°2 -Planta		Hoja 14



Corte N—N
Escala 1 a 30



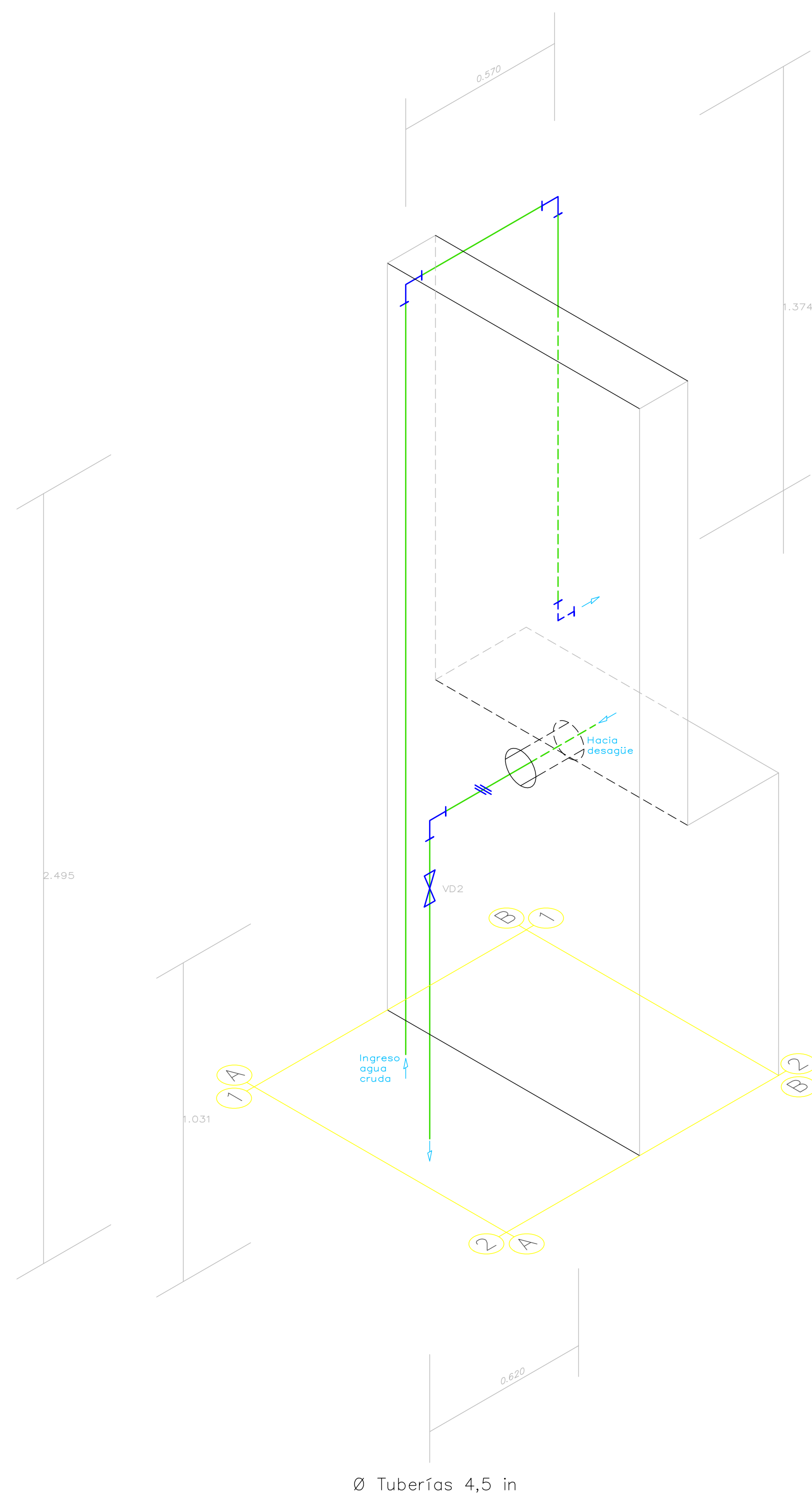
Corte O—O
Escala 1 a 30

Nota 1. El nivel de agua en el tanque varía

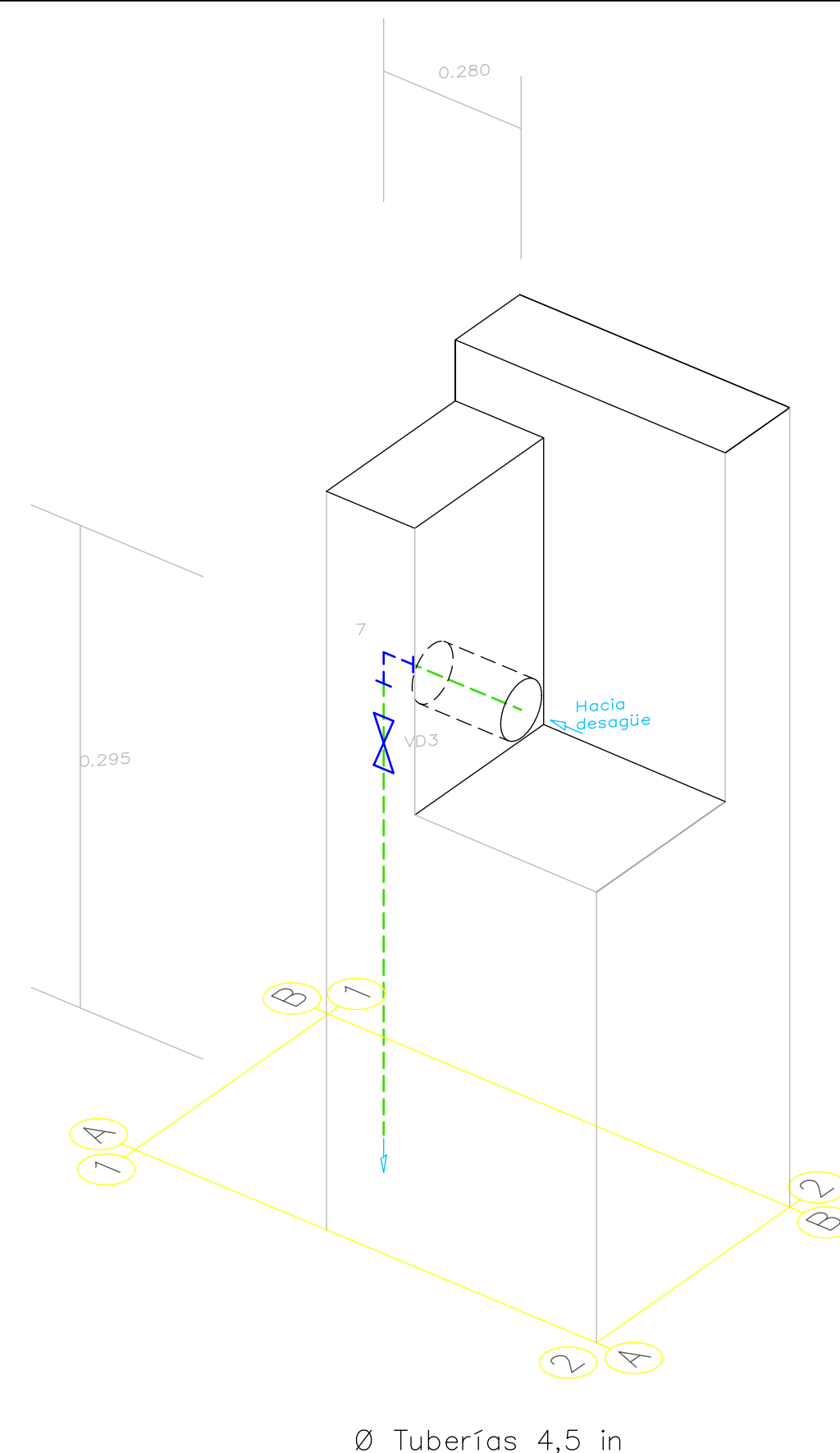
Simbología 1. Tuberías	
	Tubería Visible
	Tubería enterrada

Simbología 2. Tuberías	
	Solución de cloro
	Interconexión tanques de almacenamiento
	Desagüe
	Salida. Agua de recirculación
	Entrada. Agua filtrada
	Entrada. Solución de cloro
	Entrada. Agua de recirculación
	Entrada. Agua sistema contra incendios
	Salida. Agua sistema contra incendios
	Salida. Agua hacia torres de enfriamiento
	Tubería común para varios usos

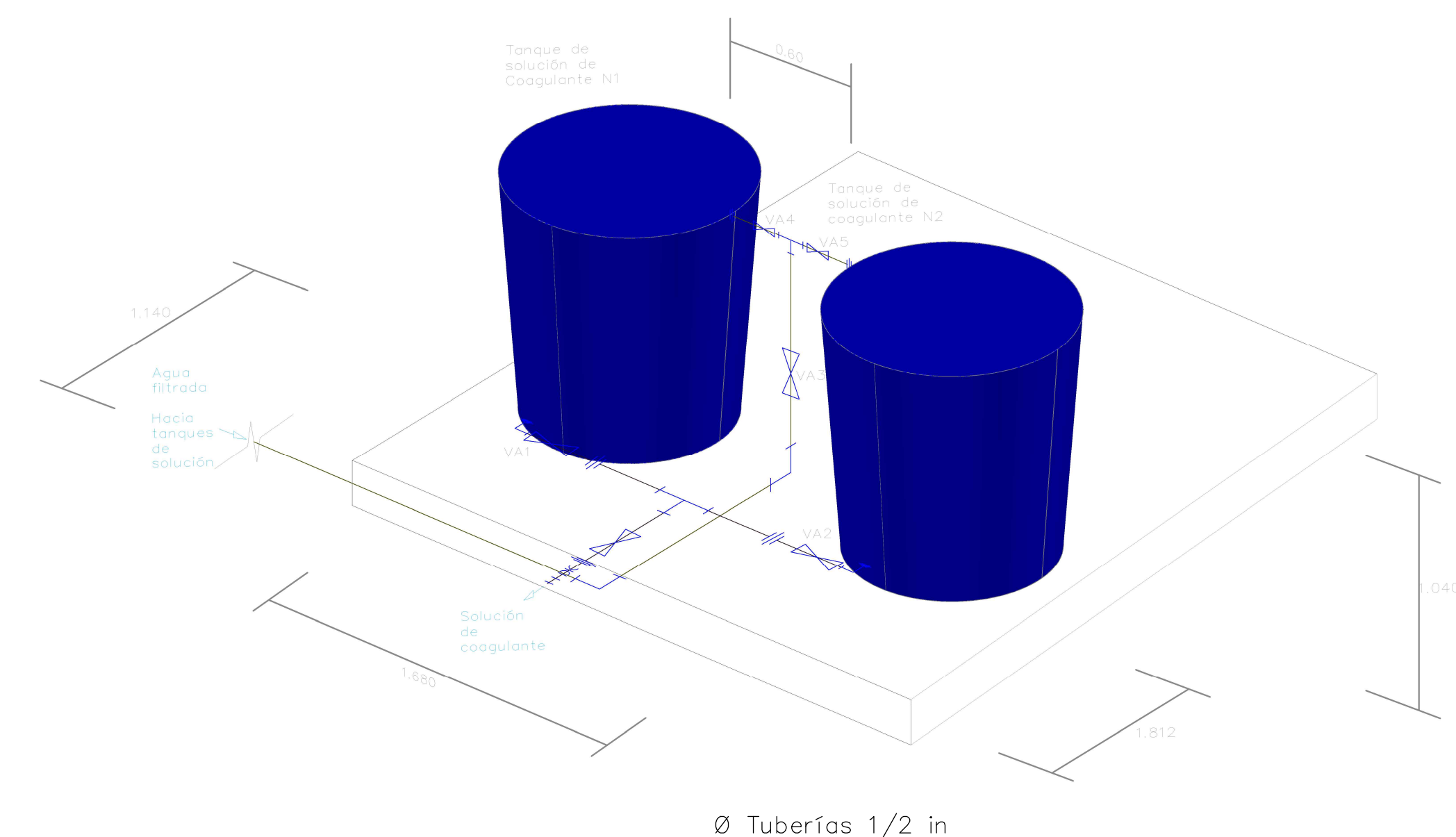
Escala: Las indicadas			
Observaciones:		Director T.T.: Ing. Diego Idrovo	
		Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedecca	
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.		Julio—2019	
Contenido: Tanques de almacenamiento —Corte N—N —Corte O—O		Hoja 15	



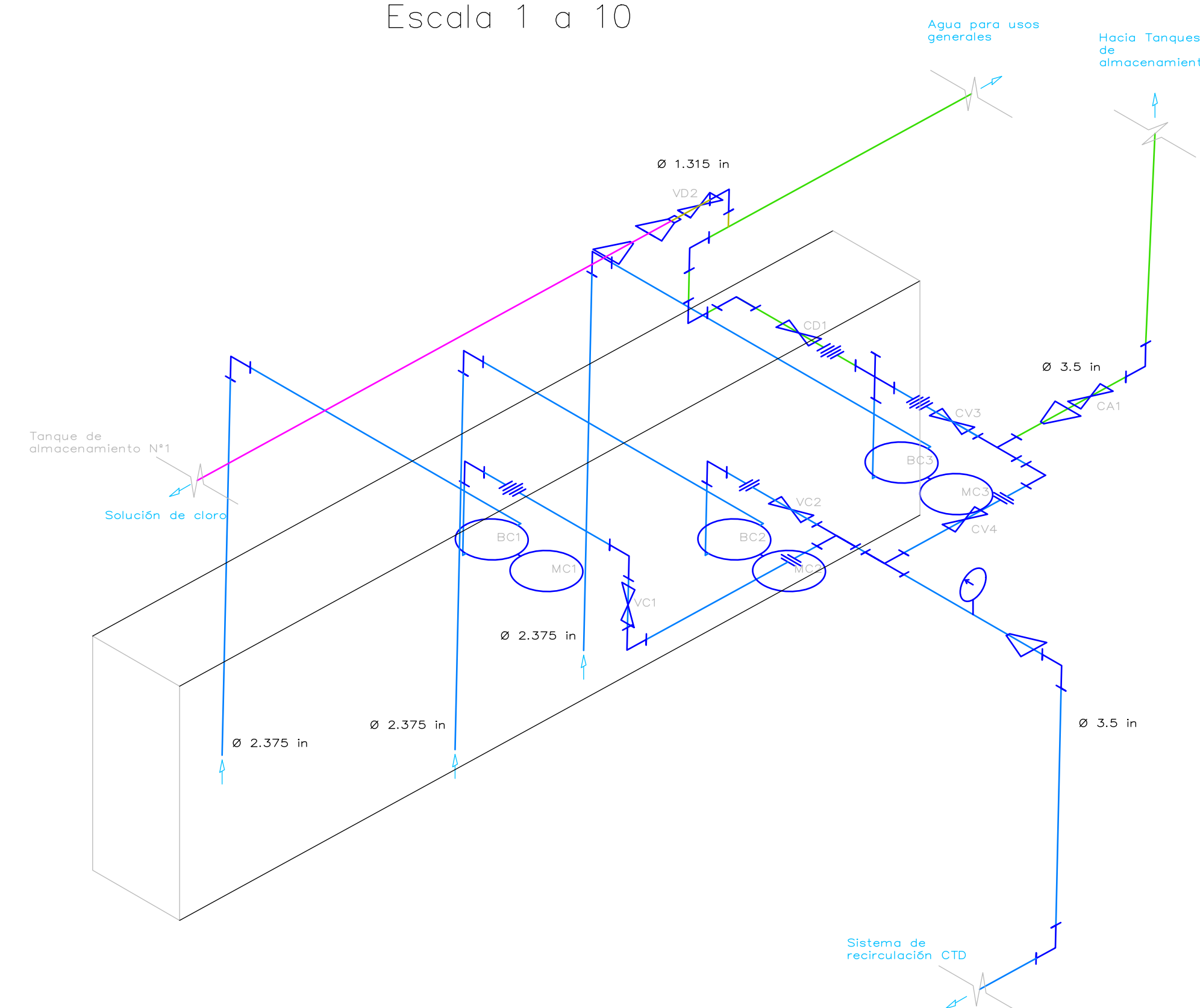
Detalle Tuberías 1
Escala 1 a 10



Detalle Tuberías 2
Escala 1 a 10





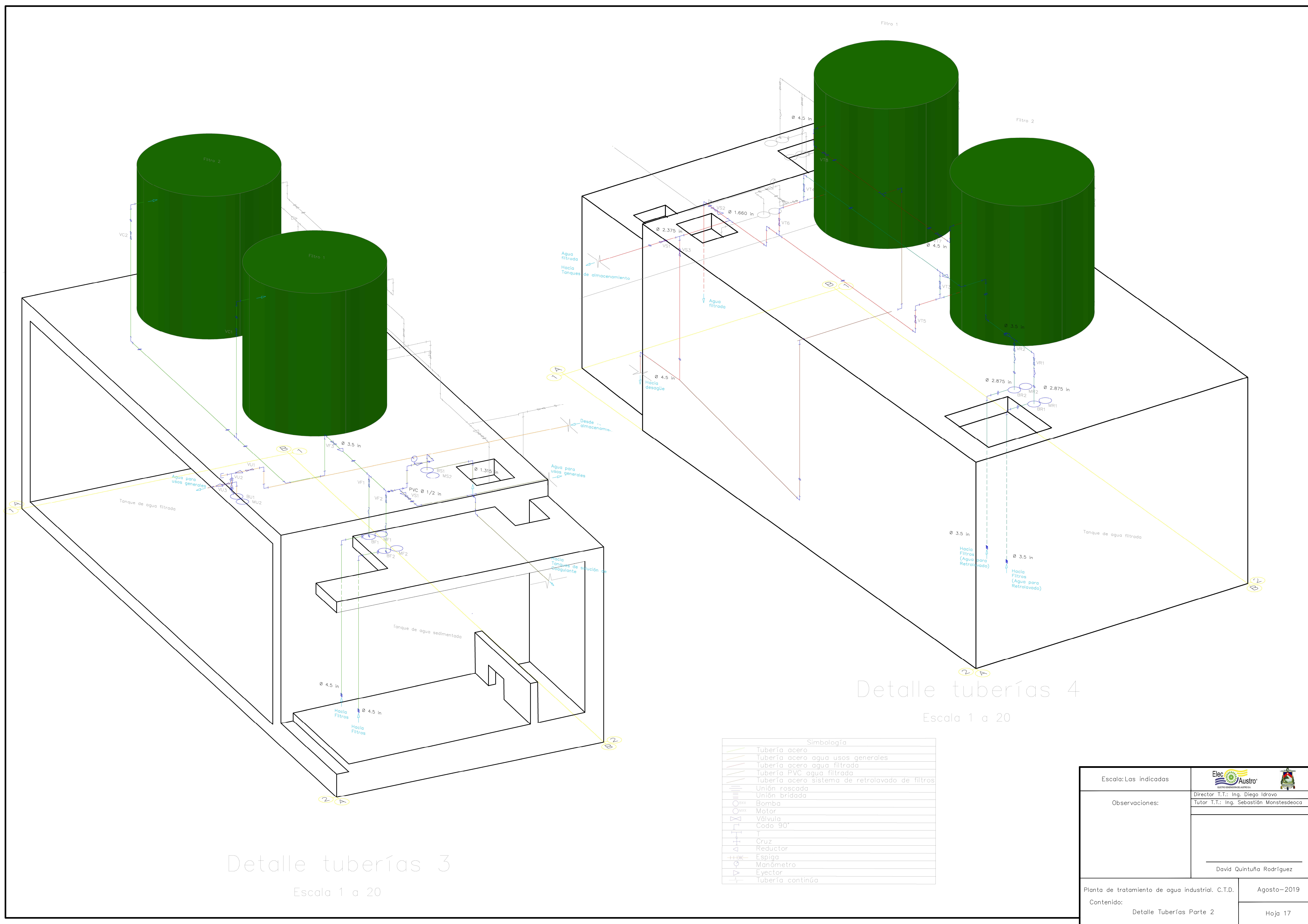
Ø Tuberías 1/2 in
Dosificación de Coagulante
Escala 1 a 20



Bombeo agua de recirculación CTD y dosificación de Cloro
Escala 1 a 10

Simbología	
	Tubería acero
	Tubería acero sistema de recirculación
	Tubería PVC solución de coagulante
	Tubería PVC agua filtrada
	Tubería PVC solución de cloro
	Unión roscada
	Unión bridada
	Bomba
	Motor
	Válvula
	Codo 90°
	Cruz
	Reductor
	Espiga
	Manómetro
	Eyector
	Tubería continua

Escala: Las indicadas	 
Observaciones:	Director T.T.: Ing. Diego Idrvo
	Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstesdeoca
	<hr/> <div>David Quintuña Rodríguez</div>
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	Agosto—2019
Contenido:	
Detalle Tuberías	Hoja 16



Detalle tuberías 3
Escala 1 a 20

Detalle tuberías 4
Escala 1 a 20

Simbología	
	Tubería acero
	Tubería acero agua usos generales
	Tubería acero agua filtrada
	Tubería PVC agua filtrada
	Tubería acero sistema de retrolavado de filtros
	Unión rosca
	Unión brida
	Bomba
	Motor
	Válvula
	Codo 90°
	T
	Cruz
	Reductor
	Espiga
	Manómetro
	Eyector
	Tubería continúa

Escala: Las indicadas	 Director T.T.: Ing. Diego Idrvo Tutor T.T.: Ing. Sebastián Monstedecca David Quintuña Rodríguez
Observaciones:	
Planta de tratamiento de agua industrial. C.T.D.	
Contenido: Detalle Tuberías Parte 2	Agosto—2019 Hoja 17

APÉNDICE B

Informe de resultados. Laboratorio de Ingeniería Sanitaria. Facultad
de Ingeniería. Universidad de Cuenca

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra Procedencia:	Planta de Tratamiento de Procesos Industriales de la Central Elecaastro.- Provincia del Azuay
Tipo de Fuente:	Superficial
Fecha de Toma:	14 de febrero de 2019
Fecha de Análisis:	14 de febrero de 2019
Análisis solicitado por:	Sr. David Quintuña

PARÁMETROS	Agua Cruda	Salida del Floculador	Salida del Sedimentador	Salida de los Filtros	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	40,8	52,4	10,8	3,82	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	243,0	280,0	56,0	27,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	55,0	30,0	32,0	17,0	UC, Pt Co	

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra Procedencia:	Planta de Tratamiento de Procesos Industriales de la Central Elecaastro.- Provincia del Azuay
Tipo de Fuente:	Superficial
Fecha de Toma:	28 de febrero de 2019
Fecha de Análisis:	28 de febrero de 2019
Análisis solicitado por:	Sr. David Quintuña

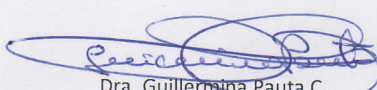
PARÁMETROS	Agua Cruda	Agua Floculada	Agua Sedimentada	Agua Filtrada	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	46,5	47,0	8,36	3,66	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	240,0	241,0	52,0	21,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	29,0	15,0	15,0	14,0	UC, Pt Co	

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra Procedencia:	Planta de Tratamiento de Procesos Industriales de la Central Elecaastro.- Provincia del Azuay
Tipo de Fuente:	Superficial
Fecha de Toma:	18 de marzo de 2019
Fecha de Análisis:	18 de marzo de 2019
Análisis solicitado por:	Sr. David Quintuña

PARÁMETROS	Agua Cruda	Agua Floculada	Agua Sedimentada	Agua Filtrada	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	3,75	16,6	5,97	0,466	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	35,0	105,0	40,0	12,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	20,0	23,0	11,0	10,0	UC, Pt Co	

Responsable:


 Dra. Guillermina Pauta C.
 DIRECTORA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERIA LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

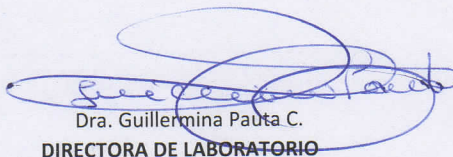
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra Procedencia:	Planta de Tratamiento de Procesos Industriales de la Central Elecaastro.- Provincia del Azuay
Tipo de Fuente:	Superficial
Fecha de Toma:	31 de mayo de 2019
Fecha de Análisis:	31 de mayo de 2019
Análisis solicitado por:	Sr. David Quintuña

PARÁMETROS	# 1	# 2	# 3	# 4	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	73,2	78,9	63,7	49,9	NTU, FTU	

PARÁMETROS	# 5	# 6	# 7		UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	37,5	29,0	19,1		NTU, FTU	

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
DIRECTORA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERIA LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra Procedencia:	Planta de Tratamiento de Procesos Industriales de la Central Elecaustro.- Provincia del Azuay
Tipo de Fuente:	Superficial
Fecha de Toma:	05 de julio de 2019
Fecha de Análisis:	05 de julio de 2019
Análisis solicitado por:	Sr. David Quintuña

PARÁMETROS	Agua Cruda	Agua Floculada	Agua Sedimentada	Agua Filtrada	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	17,2	16,1	3,55	1,27	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	103,0	102,0	33,0	13,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	39,0	14,0	9,0	5,0	UC, Pt Co	

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Muestra Procedencia:	Planta de Tratamiento de Procesos Industriales de la Central Elecaustro.- Provincia del Azuay
Tipo de Fuente:	Superficial
Fecha de Toma:	05 de julio de 2019
Fecha de Análisis:	05 de julio de 2019
Análisis solicitado por:	Sr. David Quintuña

PARÁMETROS	# 1	# 2	# 3	# 4	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	58,4	9,2	5,17	2,67	NTU, FTU	

PARÁMETROS	# 5	# 6	# 7	# 8	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	2,44	11,8	4,32	1,54	NTU, FTU	

PARÁMETROS	# 9	# 10	# 11	# 12	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	1,24	4,7	17,5	3,88	NTU, FTU	

PARÁMETROS	# 13	# 14	# 15	# 16	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS						
TURBIEDAD	1,19	8,5	6,44	1,79	NTU, FTU	

Responsable:

Dra. Guillermina Pauta C.
DIRECTORA DE LABORATORIO

Bibliografía

- [1] A. Trujillo. *Principios básicos de la calidad y tratamiento de agua potable*. Universidad de Caldas, Manizales, 2007.
- [2] J. Arboleda. *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. CEPIS, Lima, 1973.
- [3] CEPIS. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*. Lima, 2004.
- [4] CEPIS. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. Lima, 2006.
- [5] CEPIS. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada*. Lima, 2006.
- [6] CEPIS. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual IV: Operación, mantenimiento y control de calidad*. Lima, 2006.
- [7] [www.wermac.org](http://www.wermac.org/valves/valves_general.html). Valves Guide. [En línea] Disponible en: http://www.wermac.org/valves/valves_general.html, .
- [8] Abdón Izquierdo. Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de la central termoeléctrica El Descanso, 2015.
- [9] Arboleda J. *Teoría y Práctica de la Purificación del agua*, volume Tercera edición. McGRAW-HILL, 2000.
- [10] EPA. Manual: Optimación de la producción de plantas de tratamiento de agua mediante el Programa de Corrección Compuesto, 1998.
- [11] J Suárez A Jácome J Temprano I, Tejero. Filtración rápida.
- [12] Sheppard Powell. *Acondicionamiento de aguas para la industria*. México, 1970.
- [13] Nalco Chemical Company. *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. 1982.
- [14] Romero-Rojas J. Calidad del Agua, 2002.
- [15] New York State Department of Health. *Manual de tratamiento de aguas, trad. R. Guerrero*. Limusa Wiley, México D.F., 1964.

- [16] Nordell Eskel. Tratamiento de agua para la industria y otros usos, Compañía editorial Continental S.A., 1965.
- [17] P. Lloret. Gestión de cuencas hidrográficas. Consorcio CAMAREN, 2005.
- [18] ASTM. *Manual de aguas para usos industriales*. Limusa, Philadelphia, 1976.
- [19] CEPIS. Evaluación de plantas de tratamiento de agua, 1984.
- [20] CEPIS. *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Manual de capacitación para operadores*. Lima, 2002.
- [21] Romero-Rojas J. Purificación del agua, 2006.
- [22] <http://www.elecaustro.com.ec>.
- [23] G. Pauta. Estudio integral de la calidad del agua del río Burgay y evaluación del riesgo toxicológico por la probable presencia de plaguicidas, 2014.
- [24] Nigata. Final Drawing and documentation for NIIGATA-S.E.M.T. Pielstick Station Diesel Engines, 1980.
- [25] Kenneth Robeson. *Le mystere sous la mer*. Number 27 in Doc Savage. Pocket Marabout, 1972. Traduction française de [33] par Claude Olivier.
- [26] Kohan A. Manual de Calderas.
- [27] Nigata. Final Drawing and documentation for NIIGATA-S.E.M.T. Pielstick Station Diesel Engines, 1980.
- [28] Nigata. Final Drawing and documentation for NIIGATA-S.E.M.T. Pielstick Station Diesel Engines, 1980.
- [29] ELECAUSTRO S.A. Plan de manejo ambiental. Plan de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua, 2018.
- [30] Doménech J. *Cryptosporidium y Giardia, problemas emergentes en el agua de consumo humano*. *Sanidad ambiental*, volume Vol.22. Elsevier, 2003.
- [31] U.S. Environmental Protection Agency. *Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems using surface water sources*. Washington D.C., 1991.
- [32] Gerardo Galviz. *Consideraciones sobre la aplicación del modelo simplificado de Wolf y Resnick*, volume Tercera edición. 1984.
- [33] Kenneth Robeson. *Mystery Under the Sea*. Number 27 in Doc Savage. Bantam, August 1968.